



**Bruno Cláudio Vilarinho**

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

**Análise Numérica de Pontes de Alvenaria de Pedra:  
Caso de Estudo da Ponte da Pedra sobre o Rio  
Tuela**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Civil

Orientador: Professor Doutor Rui Pedro César Marreiros, Professor Auxiliar,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Coorientador: Professor Doutor António Manuel Pinho Ramos, Professor Auxiliar,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Professor Doutor José Nuno Varandas Ferreira

Arguente: Engenheira Neuza Rodrigues

Vogal: Professor Doutor Rui Pedro César Marreiros



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA



## **Análise numérica de Pontes de Alvenaria**

Copyright © Bruno Cláudio Vilarinho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## AGRADECIMENTOS

Esta dissertação contou com o apoio de um conjunto de pessoas, cuja contribuição foi decisiva para a sua finalização. Desta forma, pretendo expressar o meu profundo agradecimento a todos aqueles que contribuíram para a elaboração deste trabalho.

Ao Professor Doutor Rui Pedro César Marreiros pela ajuda, incentivo, disponibilidade e apoio científico ao longo de todas as fases do trabalho.

Ao Professor Doutor António Manuel Pinho Ramos pela oportunidade de trabalhar este tema, pela confiança e pelo apoio científico.

Ao Brisid Isufi pela preciosa ajuda na utilização do software *ABAQUS CAE*

À Engenheira Neuza Cristina Marques de Castro Rodrigues das Infraestruturas de Portugal pelo fornecimento dos relatórios da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela.

Ao Engenheiro Samuel Neves e ao Engenheiro Diogo São Pedro da Arrow 4D pelo seu trabalho e profissionalismo no mapeamento rigoroso da ponte.

Ao Divaldo Valente Soroa pela companhia e amizade ao longo do mestrado e pelo precioso apoio na inspeção da ponte.

À Bruna por me dar força para superar todos os desafios e por me acompanhar em todos os momentos.

À minha família, em especial ao meu irmão e ao meu pai, por serem um exemplo de trabalho, força e perseverança.



## RESUMO

As pontes em arco de alvenaria integram circuitos rodoviários fundamentais ao transporte de bens, serviços e pessoas. Estes circuitos têm sido desenvolvidos desde as primeiras civilizações até à atualidade e a sua expansão tem sido constante, alcançando cada vez mais destinos. As pontes surgem com a necessidade de ultrapassar obstáculos, como vales ou cursos de água, com facilidade e conforto. Assim, ao longo dos itinerários que unem gentes e lugares, e consoante as barreiras, são construídas pontes. Com a evolução dos materiais e técnicas de construção, as pontes em arco de alvenaria deixaram ser a técnica construtiva mais utilizada, perdendo o seu estatuto para o aço e o betão armado. No entanto, as pontes de alvenaria continuam a integrar vias de comunicação pelo que requerem a compreensão do seu comportamento a fim de serem mantidas e reparadas. Este trabalho aborda o caso de estudo da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela, que além de ser uma ponte em alvenaria de pedra é também classificada como Monumento Nacional devido ao seu valor histórico.

Este estudo pretende produzir desenhos rigorosos da geometria da estrutura uma vez que estes não existem, avaliar as anomalias da ponte e identificar as causas das mesmas e contribuir para aumentar o conhecimento sobre pontes em arco de alvenaria de pedra.

A metodologia de estudo inicia-se com uma vasta pesquisa bibliográfica que visa compreender a evolução das pontes em arco de pedra, os componentes estruturais e o seu comportamento, os modos de ruína possíveis de ocorrer e os métodos de análise disponíveis. Posteriormente são estudados documentos históricos que referenciam a Ponte da Pedra e realiza-se o levantamento da estrutura. Procura-se definir a geometria com rigor através de um levantamento topográfico, fotogramétrico e com georadar. Por fim, a estrutura é modelada num software de equilíbrio limite *LimitState RING* e são também produzidos dois modelos numéricos com o software de cálculo automático *ABAQUS CAE* que pretendem aferir o sistema de carga longitudinal e transversal.

Os resultados dos modelos evidenciam que o sistema de cargas longitudinal apresenta uma resistência suficiente para acomodar as sobrecargas. O mecanismo de carga transversal apresenta deformações localizadas e as sobrecargas aparentam ter um efeito negativo no comportamento do mesmo. Com isto, conclui-se que o mecanismo de carga transversal é condicionante na resposta da estrutura, estando a segurança garantida para as cargas de serviço.

**Palavras chave:** Arcos; alvenaria de pedra; pontes em arco; análise limite; análise de elementos finitos.



## ABSTRACT

Masonry arch bridges integrate roadway circuits that are fundamental to the transport of goods, services and people. These circuits have been developed since the first civilizations to present time and its expansion has been constant, reaching more and more places. Bridges are born with the necessity to overcome physical obstacles, like valleys or water streams, with ease and comfort. Thereby, along the circuits that connect people and places, and according to the physical obstacles on the way, bridges are built. Along with the evolution of construction materials and techniques, masonry arch bridges stopped being the most used technique, losing its status to steel and reinforced concrete. Although, masonry arch bridges continue to be part of communication circuits, which means that its structural behavior must be well read to allow the structures to be properly maintained and repaired. This work addresses the case study of Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela, which is a masonry arch bridge classified as a National Monument due to its historical value.

This Study aims to produce rigorous structural drawings once there are any, evaluate the anomalies present on the bridge, identify the causes of those anomalies and contribute to increase knowledge about masonry arch bridges.

The work methodology starts with a vast bibliography research that aims to understand the evolutions of arch bridges, its structural parts and general behavior, the failure modes that might occur and the analysis techniques available. Then, historical documents that mention the case study bridge are studied. The geometry is defined with great rigor using topography, photogrammetry and georadar. After all the structure is modelled with a limit analysis software *LimitState RING* and two more models are using the automatic calculation software *ABAQUS CAE* which evaluate the longitudinal and transversal load system.

The results provided by the models reveal that the longitudinal load system has enough resistance to accommodate live loads. On the other hand, the transversal load mechanism shows local deformations and live loads appear to have a negative effect on the bridge behavior. Lastly, it is concluded that the transversal load mechanism is determinant in the structure behavior, being safe when service loads are applied.

**Key words:** Arches; rock masonry; arch bridges; limit analysis; finite elements analysis



# ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>i</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE GERAL</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>xix</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. RELEVÂNCIA E CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	1
1.2. OBJECTIVOS .....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	2
<b>2. HISTÓRIA E EVOLUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
2.1. INTRODUÇÃO .....	5
2.2. EVOLUÇÃO DO ARCO COMO SOLUÇÃO ESTRUTURAL EM PONTES .....	5
2.3. PONTES ROMANAS .....	8
2.4. PONTES MEDIEVAIS E RENASCENTISTAS .....	10
2.5. PONTES MODERNAS.....	11
<b>3. COMPORTAMENTO ESTRUTURAL</b> .....	<b>15</b>
3.1. INTRODUÇÃO .....	15
3.2. ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	15
3.2.1. FUNDAÇÕES.....	15
3.2.2. PILARES E ENCONTROS.....	16
3.2.3. ARCOS.....	16
3.2.4. MUROS DE TÍMPANO.....	17
3.2.5. ENCHIMENTO .....	18
3.3. ELEMENTOS NÃO ESTRUTURAIS.....	19

3.3.1.	PAVIMENTO .....	19
3.3.2.	TALHA MARES E TALHANTES .....	19
3.3.3.	GUARDA CORPOS .....	19
3.3.4.	GÁRGULAS E ORGÃOS DE DRENAGEM .....	19
3.3.5.	OUTROS ELEMENTOS NÃO ESTRUTURAIS .....	20
3.4.	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	20
3.4.1.	ALVENARIA - MATERIAL .....	20
3.4.2.	ENCHIMENTO – MATERIAL .....	29
3.5.	MECANISMO DE TRANSMISSÃO DE CARGAS .....	29
<b>4.</b>	<b>MODOS DE ROTURA .....</b>	<b>33</b>
4.1.	INTRODUÇÃO .....	33
4.2.	ROTURAS NA DIREÇÃO LONGITUDINAL .....	33
4.2.1.	MECANISMO DE QUATRO E CINCO RÓTULAS .....	34
4.2.2.	“SNAP THROUGH” DE TRÊS RÓTULAS .....	35
4.2.3.	MULTI-ARCO .....	36
4.2.4.	ESMAGAMENTO DO ARCO .....	37
4.2.5.	ESCORREGAMENTO NAS ADUELAS DO ARCO .....	38
4.3.	ROTURAS NA DIREÇÃO TRANSVERSAL .....	38
4.3.1.	MECANISMOS ASSOCIADOS AOS MUROS DE TÍMPANO .....	39
4.4.	FLEXÃO E PUNÇOAMENTO NO ARCO .....	40
<b>5.</b>	<b>MÉTODOS DE ANÁLISE.....</b>	<b>43</b>
5.1.	INTRODUÇÃO .....	43
5.2.	ANÁLISE GRÁFICA E ANALÍTICA .....	43
5.2.1.	REGRA DO TERÇO CENTRAL.....	43
5.2.2.	POLIGONO FUNICULAR.....	46
5.2.3.	MÉTODO ELÁSTICO DE PIPPARD .....	49
5.2.4.	MÉTODO MEXE .....	51
5.2.5.	ANÁLISE LIMITE.....	53
5.3.	TÉCNICAS DE ANÁLISE NUMÉRICA.....	55
5.3.1.	MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS .....	56
5.3.2.	MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS .....	61
<b>6.</b>	<b>CASO DE ESTUDO - PONTE DA PEDRA SOBRE O RIO TUELA .....</b>	<b>63</b>

6.1.	INTRODUÇÃO .....	63
6.2.	SISTEMAS DE GESTÃO E AGILIZAÇÃO DE PROCESSOS .....	65
6.2.1.	SGOA – SISTEMA DE GESTÃO DE OBRAS DE ARTE.....	65
6.2.2.	MANUAL DE MANUTENÇÃO DE PONTES HISTÓRICAS EM ALVENARIA DE PEDRA 66	
6.3.	LOCALIZAÇÃO .....	67
6.4.	TÉCNICAS DE RECONHECIMENTO DA PONTE .....	68
6.5.	PESQUISA HISTÓRICA .....	68
6.6.	DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA.....	70
6.6.1.	FUNDAÇÕES E PILARES .....	73
6.6.2.	ENCONTROS .....	74
6.6.3.	ARCOS.....	75
6.6.4.	MUROS DE TÍMPANO.....	76
6.6.5.	GUARDA CORPOS E GÁRGULAS.....	77
6.7.	INSPEÇÃO VISUAL DA ESTRUTURA.....	78
6.8.	LEVANTAMENTO RIGOROSO DA ESTRUTURA.....	86
6.8.1.	LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO .....	86
6.8.2.	LEVANTAMENTO FOTOGAMÉTRICO .....	87
6.8.3.	LEVANTAMENTO COM GEORADAR.....	89
6.9.	CARATERIZAÇÃO DOS MATERIAIS – VALORES OBSERVADOS NA BIBLIOGRAFIA... 90	
6.10.	CARATERIZAÇÃO GEOMÉTRICA.....	92
6.11.	EN 1991-2 EUROCÓDIGO 1 – AÇÕES EM ESTRUTURAS – CARGAS DE TRÁFEGO EM PONTES.....	94
6.11.1.	EN 1991-2 – DESCRIÇÃO.....	94
6.11.2.	LOAD MODEL 1 (LM1) .....	95
6.11.3.	LOAD MODEL 2 (LM2) .....	96
6.12.	ANÁLISE PRELIMINAR – LIMIT STATE RING.....	97
6.12.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	97
6.12.2.	LIMITAÇÕES DO SOFTWARE.....	98
6.12.3.	CONFIGURAÇÃO DA PONTE.....	98
6.12.4.	CONFIGURAÇÃO DA CARGA E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	99
6.12.5.	CONCLUSÃO.....	100
6.13.	MODELAÇÃO NUMÉRICA – ABAQUS CAE.....	101

6.13.1. INTRODUÇÃO .....	101
6.13.2. MODELO 1 – MACRO MODELAÇÃO DA ESTRUTURA COMPLETA .....	105
6.13.3. MODELO 2 – MACRO MODELAÇÃO DO ENCONTRO OESTE .....	117
<b>7. CONCLUSÕES FINAIS .....</b>	<b>129</b>
7.1. CONCLUSÕES .....	129
7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	130
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>133</b>
<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>139</b>





## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Tarr Steps, Somerset, Inglaterra (Kühn, 2004).....	5
Figura 2.2 - Ponte "Celta" de Castro Laboreiro (Desconhecido, 2009).....	6
Figura 2.3 - Sistema de Arco em "consola" (N. C. M. de C. Rodrigues, 2008) .....	6
Figura 2.4 - Pont du Gard, Vers-Pont-du-Gard, França (Locking, 2018).....	8
Figura 2.5 - Arco de volta perfeita (ilustração da aduela de fecho "keystone") (N. C. M. de C. Rodrigues, 2008).....	9
Figura 2.6 - Marcas de Forféx (N. C. M. de C. Rodrigues, 2008) (esquerda); Forféx ou tenaz mecânica (Soutinho, 2017) (direita).....	9
Figura 2.7 - Ponte de Trajano, Chaves, Portugal ("Ponte de Trajano," n.d.).....	10
Figura 2.8 - Alçado montante da Ponte da Lagoncinha (C. M. R. Costa, 2002) .....	10
Figura 2.9 - Ponte Rialto, Veneza, Itália (Prandi, 2013) .....	11
Figura 2.10 - Ponte de La Concorde, Paris, França .....	12
Figura 2.11 - Viaduto de Göltzsch, Saxónia, Alemanha.....	12
Figura 2.12 - Ponte Duarte Pacheco, Porto, Portugal (Multimédia, n.d.) .....	13
Figura 2.13 - Cimbres utilizados na Ponte Duarte Pacheco, Eja, Portugal (N. C. M. de C. Rodrigues, 2008).....	13
Figura 3.1 - Esquema dos elementos constituintes de uma ponte em arco de alvenaria (Álamo, 2001) .....	15
Figura 3.2 - Pormenor de fundação indireta com estacas de madeira (Junior, 2016).....	16
Figura 3.3 - Linha de impulsos e linha de centros (Morais, 2012).....	17
Figura 3.4 - Geometrias de arcos de alvenaria (Morais, 2012) .....	17
Figura 3.5 - Bolbo de pressões de Boussinesq (Narasimha & Venkatramaiah, 2000).....	18
Figura 3.6 - Cone de degradação de cargas no enchimento (C. M. R. Costa, 2009).....	18
Figura 3.7 - Talha mar e talhante .....	19

Figura 3.8 - Dreno localizado ao nível do arco (Lopes, 2012).....	20
Figura 3.9 - Comportamento de um material quasi-frágil sujeito a compressão uniaxial (Lourenço, 1996) .....	21
Figura 3.10 - Sistema de Ensaio (A. W. Page, 1981) .....	22
Figura 3.11 – Modos de ruína observáveis em paredes de alvenaria com juntas argamassadas (Dhanasekar et al., 1985), citado por (Lourenço, 1996) .....	22
Figura 3.12 – Gráfico tensão-deslocamento de um bloco de comportamento frágil (Pluijm, 1999).....	24
Figura 3.13 – Evolução da abertura de fenda num gráfico de tensão-deslocamento (G. F. M. Vasconcelos, 2005).....	24
Figura 3.14 – Diagrama Tensão-Extensão ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) ilustrativo dos patamares de evolução de abertura de fendas (Eberhardt et al., 1999) .....	25
Figura 3.15 - Limites de fendilhação normalizados para ensaios de compressão axial de granito rosa de "Lac du Bonnet, Manitoba, Canadá" (Eberhardt, Stead and Stimpson, 1999).....	26
Figura 3.16 - Comportamento à compressão de alvenaria em função do tipo de junta (G. F. M. Vasconcelos, 2005), citado por (C. M. R. Costa, 2009).....	26
Figura 3.17 - Deslocamento dilatante normal em relação após plastificação por corte da alvenaria (Van der Pluijm, 1992), citado por (van Zijl, 2004).....	27
Figura 3.18 - Comportamento de uma junta sem dilatância (esquerda) e com dilatância (direita), (Campos e Matos 1986) citado por (Costa, 2009).....	28
Figura 3.19 - Mecanismo de cargas longitudinal (Álamo, 2001) (adaptado).....	30
Figura 3.20 - Mecanismo de cargas transversal (Álamo, 2001) (adaptado) .....	31
Figura 4.1 - Mecanismo de quatro e cinco rótulas (C. M. R. Costa, 2009) .....	34
Figura 4.2 - Ponte de Prestwood momentos antes do colapso (J. Page, 1987) .....	35
Figura 4.3 – Mecanismo de rotura por “Snap Through”, adaptado de (Wang e Harvey, 1991) (C. M. R. Costa, 2009).....	35
Figura 4.4 - Ponte de Torksey no momento do colapso (J. Page, 1988) .....	36
Figura 4.5 - Mecanismo Multi-arco (Álamo, 2001).....	36
Figura 4.6 - Ponte nº 1 no momento do Colapso (Melbourne et al., 1995) .....	37

Figura 4.7 - Ponte de Preston .....	38
Figura 4.8 - Mecanismo de rotura por escorregamento das aduelas do arco (C. M. R. Costa, 2009).	38
Figura 4.9 - Anomalias habituais dos muros de tímpano Adaptado de (Álamo, 2001) .....	39
Figura 4.10 – Ponte de Shinafoot antes do colapso (J. Page, 1988) .....	40
Figura 5.1 - Tensões normais e esforços atuantes na secção transversal de uma peça linear (Gago, 2004) .....	44
Figura 5.2 - Distribuição das tensões numa secção em função da posição da sua resultante (Gago, 2004) .....	45
Figura 5.3 - Distribuição das tensões numa secção em função da posição da sua resultante (Gago, 2004) .....	45
Figura 5.4 – Polígono Funicular (Gago, 2004).....	46
Figura 5.5 – Configuração das linhas de pressão. a) Impulso mínimo; b) Impulso máximo (Heyman, 1995) .....	47
Figura 5.6 – Efeito favorável do enchimento na linha de pressões: Arco sujeito ao seu peso próprio (esquerda); Arco sujeito ao peso do enchimento e peso próprio (direita) (Gago, 2004).....	48
Figura 5.7 - Linha de pressões e polígono de forças .....	48
Figura 5.8 - Método elástico de Pippard (Gago, 2004).....	49
Figura 5.9 - Condição limite para aduelas de pedra (Heyman, 1966).....	53
Figura 5.10 – Análise limite de um arco com perfil parabólico (Gago, 2004) .....	54
Figura 5.11 - LimitState RING software (LSWEB13-2   Introduction to LimitState:RING [HD]).....	55
Figura 5.12 – Esquema de homogeneização de painéis de alvenaria regular (Gago, 2004) .....	57
Figura 5.13 - Deformada obtida através do modelo numérico dos autores (Milani & Lourenço, 2012) .....	58
Figura 5.14 – Gráfico de carga vertical máxima em função do deslocamento vertical. Comparação entre os vários métodos usados (Milani & Lourenço, 2012).....	59
Figura 5.15 – Modelo descontínuo de paredes de alvenaria com elementos finitos – Modelação detalhada a) e simplificada b) (Gago, 2004).....	60

Figura 6.1 - Localização da Ponte da pedra sobre o Rio Tuela, (Carta Militar nº 62, Centro de Informação Geospacial do Exército) e google maps da zona norte do território Português .....	67
Figura 6.2 - Planta Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela (Google Maps) .....	70
Figura 6.3 - Planta e Alçado Sul da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela .....	71
Figura 6.4 - Estrutura antes de ser desmatada; A1 e A2; Alçado Sul; Encontro Oeste .....	72
Figura 6.5 – Estrutura após ser desmatada; A1, A2 e A3; Alçado Sul, Encontro Oeste .....	72
Figura 6.6 – Pormenor de enrocamento na base; P5; alçado Norte, Encontro Este .....	73
Figura 6.7 – Divisão entre pilar e arco; P4; alçado Norte; Encontro Este .....	73
Figura 6.8 – Pormenor Encontro Este .....	74
Figura 6.9 – Pormenor Encontro Oeste .....	74
Figura 6.10 – Pormenor Arco; A6; Alçado Sul; Encontro Este .....	75
Figura 6.11 - Vista de três arcos consecutivos; A2, A3 e A4; Alçado Norte; Encontro Oeste .....	75
Figura 6.12 - Muro de tímpano situado no encontro Oeste, visto de Norte .....	76
Figura 6.13 - Pormenor muro de tímpano no encontro Oeste, vista de Sul .....	76
Figura 6.14 - Pavimento, guardas e gárgulas ao nível do tabuleiro .....	77
Figura 6.15 - Pormenor gárgula ao nível do tabuleiro .....	77
Figura 6.16 - Erosão das juntas do Pilar P4, lado Este .....	79
Figura 6.17 - Erosão juntas do Pilar P3, lado Este .....	79
Figura 6.18 - Arco A1, lado Norte, Encontro Oeste .....	80
Figura 6.19 - Muro de tímpano Norte; Encontro Este .....	80
Figura 6.20 - Vista frontal do muro de tímpano Sul; Encontro Oeste .....	81
Figura 6.21 - Vista lateral do muro de tímpano Sul; Encontro Oeste .....	81
Figura 6.22 - Lajeta fissurada na primeira secção de vazão, Alçado Norte, Encontro Oeste .....	82
Figura 6.23 - Lajeta fraturada na primeira secção de vazão, Alçado Norte, Encontro Oeste .....	82

Figura 6.24 – Deformação na guarda Sul; P3 .....	83
Figura 6.25 - Zona reparada na guarda Sul; P3 .....	83
Figura 6.26 - Infiltração de água no arco A1 .....	84
Figura 6.27 - Vegetação a crescer entre unidades de alvenaria; alçado Sul; Encontro Oeste .....	85
Figura 6.28 - Dispositivo de levantamento topográfico Leica Viva GS15 GNSS RTK rover utilizado pela ARROW 4D .....	86
Figura 6.29 – Drone equipado com sensor passivo DGI PHANTOM 4 PRO .....	87
Figura 6.30 - Nuvem de pontos .....	88
Figura 6.31 - Planta e Ortofotografia do alçado Sul .....	88
Figura 6.32 - Georadar.....	89
Figura 6.33 - Output da antena de 500 MHz, zona Norte, zona Sul .....	90
Figura 6.34 - Dimensões rigorosas da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela (planta) .....	93
Figura 6.35 - Dimensões rigorosas da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela (alçado Sul) .....	93
Figura 6.36 - Aplicação do Caso de carga 1 (EN 1991-2) .....	96
Figura 6.37 - Caso de carga 2 (EN 1991-2).....	96
Figura 6.38 - Cenário de carga mais gravoso (LM1) .....	100
Figura 6.39 - Cenário de carga mais gravoso (LM2) .....	100
Figura 6.40 - Modelação de danos no modelo de elementos finitos (Bień & Kamiński, 2006) .....	102
Figura 6.41 - Geometria do Modelo 1 .....	105
Figura 6.42 - Gráfico de tensões mínimas no extradorso do arco A1 .....	107
Figura 6.43 - Gráfico de deslocamentos verticais no extradorso do arco A1 .....	107
Figura 6.44 - Malha de elementos finitos do Modelo 1 .....	108
Figura 6.45 - Tensões mínimas nos arcos sujeitos ao peso próprio da estrutura .....	111
Figura 6.46 - Tensões mínimas na estrutura sujeita ao seu peso próprio .....	112

Figura 6.47 - Deformação nos arcos devido ao peso próprio e sobrecarga .....	112
Figura 6.48 - Deformação nos arcos devido ao peso próprio e assentamento do pilar P3 .....	113
Figura 6.49 - Gráfico de deslocamento vertical ao longo do enchimento da ponte para sobrecarga	113
Figura 6.50 - Gráfico de deslocamento vertical ao longo dos topos dos arcos para sobrecarga .....	114
Figura 6.51 - Gráfico de tensões mínimas principais ao longo dos topos dos arcos para sobrecarga .....	114
Figura 6.52 - Tensões principais para um assentamento de apoio de 0,00 m e LM1 (fator de deformação de 50) .....	115
Figura 6.53 - Tensões principais para um assentamento de apoio de 0,01 m e LM1 (fator de deformação de 50) .....	115
Figura 6.54 - Tensões principais para um assentamento de apoio de 0,02 m e LM1 (fator de deformação de 50) .....	116
Figura 6.55 - Vetores de deslocamento nos tímpanos do arco A1 quando a estrutura está sujeita ao seu peso próprio .....	116
Figura 6.56 - Muro de suporte sujeito ao impulso lateral de terras e sobrecarga (Helwany, 2007) ...	117
Figura 6.57 - "Embarrigamento" muro de tímpano Sul, Encontro Oeste .....	118
Figura 6.58 - Geometria do Modelo 2 .....	119
Figura 6.59 - Malha de elementos finitos do Modelo 2 .....	121
Figura 6.60 - Deformada da estrutura e magnitude dos deslocamentos (fator de amplificação de 10) .....	122
Figura 6.61 - Resultante dos vetores de deslocamento .....	122
Figura 6.62 - Gráfico de deslocamento segundo Z (para fora do plano) ao longo do tímpano Sul ...	123
Figura 6.63 - Gráfico de deslocamento segundo Y (direção vertical) ao longo do arco A1 .....	123
Figura 6.64 - Tensões principais mínimas e máximas na estrutura .....	124





## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 5.1 - Método MEXE (Extraído de Gago, 2004) .....	52
Tabela 5.2 – Comparação entre a modelação contínua e discreta para pontes de alvenaria de pedra (Sarhosis et al., 2016).....	60
Tabela 6.1 - Características dos Arcos, (Jesus, 2013) .....	71
Tabela 6.2 - Propriedades mecânicas dos blocos de granito .....	91
Tabela 6.3 - Propriedades mecânicas do enchimento .....	92
Tabela 6.4 – Número e largura das faixas de carregamento (EN 1991-2).....	94
Tabela 6.5 – Caso de carga 1, valores característicos (EN 1991-2) .....	95
Tabela 6.6 - Propriedades mecânicas consideradas na modelação com LimitState RING .....	99
Tabela 6.7 - Tensões mínimas de compressão e máximas de tração nos arcos quando submetidos à carga permanente (CP) e sobrecarga (LM1).....	109
Tabela 6.8 - Tensões mínimas de compressão e máximas de tração nos arcos quando submetidos à carga permanente (CP) e sobrecarga (LM2).....	110



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. RELEVÂNCIA E CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A utilização de alvenaria de pedra na construção tornou-se uma técnica pouco comum a partir do século XX, devido ao aparecimento de novos sistemas estruturais, materiais e técnicas, que revolucionaram a construção. Estes novos sistemas permitem realizar obras com maior eficiência e solucionar desafios cada vez mais arrojados. Com o desenvolvimento das estruturas metálicas, das estruturas de betão armado e do pré-esforço, as obras em alvenaria de pedra foram perdendo importância como sistema estrutural. Atualmente, a escolha da alvenaria de pedra como solução de uma nova estrutura, prende-se com questões estéticas e não tanto com o seu desempenho.

Apesar de estarem a cair em desuso, as estruturas em arco de alvenaria continuam a ser alvo de grande importância, por terem marcado a história até os dias de hoje e estarem inseridas em redes rodoviárias e ferroviárias funcionais. Ao longo de vários períodos da civilização, a construção em alvenaria de pedra era a resposta para erguer estruturas complexas e com grande durabilidade. Atualmente, o conhecimento adquirido sobre as mesmas, é utilizado na manutenção e análise do seu comportamento. No entanto o conhecimento científico no campo das pontes de alvenaria ainda se encontra pouco desenvolvido quando comparado com outras áreas de investigação em engenharia civil.

Em Portugal, dada à antiguidade e ao valor intrínseco de inúmeros imóveis de alvenaria de pedra, estes são classificados como monumento nacional pela DGPC. A Ponte da Pedra possui este estatuto pelo Decreto nº 28/82, DR, 1.ª série, n.º 47 de 26 fevereiro 1982, que implica que se realize a conservação do imóvel sem alterar as suas características físicas como a forma e os materiais. É assim necessário proceder a intervenções cuidadas, que respeitem o património e o preservem imutável no tempo.

A entidade **Infraestruturas de Portugal (IP)** em conjunto com a **Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL)** desenvolveram um relatório sobre intervenções de reforço estrutural, manutenção e conservação, possíveis de serem executadas em pontes de arco de alvenaria com valor histórico. Na sequência deste relatório, pretende-se complementar o trabalho realizando uma análise estrutural da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela, realizando um levantamento detalhado e uma análise numérica linear.

## 1.2. OBJECTIVOS

Este trabalho surge com o propósito de preservar e manter em funcionamento estruturas de alvenaria de pedra com valor histórico como a Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela. Assim procura responder aos seguintes pontos:

- Realizar uma pesquisa que reúna a evolução e os conhecimentos associados aos arcos e às pontes de alvenaria de pedra;
- Conhecer os elementos constituintes da infraestrutura e da superestrutura, bem como compreender a interação entre eles;
- Avaliar diversos modos de rotura e compreender como estes se manifestam;
- Estudar métodos de análise de pontes de alvenaria de pedra com o intuito de aferir as vantagens e desvantagens de cada um;
- Avaliar a Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela quanto à sua estabilidade

Ao fazer uma pesquisa da informação relevante acerca do estudo de pontes de pedra em arco de alvenaria, este trabalho procura reunir informação para a generalidade das estruturas deste tipo e posteriormente abordar o caso particular da Ponte da Pedra do Rio Tuela.

## 1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Antes de abordar o caso de estudo da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela, apresenta-se uma pesquisa bibliográfica que pretende expor a evolução e o funcionamento estrutural das pontes em arco de alvenaria. Apesar do caso de estudo ser uma ponte de alvenaria de pedra não argamassada, foi necessário incluir conhecimento de pontes com diferentes materiais e ligações, devido à existência de pouca informação sobre alvenaria de pedra com juntas secas. Assim, os capítulos 2, 3, 4 e 5 constituem uma recolha de informação, considerada necessária, para entender de forma correta o comportamento da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela.

A organização deste documento encontra-se explanada nos seguintes parágrafos:

No **Capítulo 1** são apresentadas as considerações iniciais bem como a relevância deste estudo. Também se expõe os objetivos chave da dissertação e a organização escrita do documento.

No **Capítulo 2** procura-se reunir informação sobre as características das pontes desde os primórdios da civilização até ao presente. Ao longo deste capítulo é feito especial destaque ao arco como solução estrutural e é analisada a sua evolução ao longo do tempo.

No **Capítulo 3** são apresentados os componentes estruturais que integram uma ponte de alvenaria de pedra genérica. São também apresentados os materiais que constituem a estrutura e o seu comportamento quando sujeitos a esforços de compressão, tração e corte. Por fim, são descritos os

dois mecanismos de transmissão de carga que encaminham o peso próprio e as sobrecargas para as fundações.

No **Capítulo 4** são ilustrados os vários modos de rotura possíveis de ocorrer numa ponte de alvenaria de pedra. Apresentam-se também exemplos dos modos de rotura observados em ensaios de pontes à escala real.

No **Capítulo 5** abordam-se diversos métodos de análise de pontes em arco, como métodos gráficos e analíticas utilizados no passado, análise limite e análise numérica. Apresenta-se com mais detalhe os métodos de análise limite e análise numérica pois é com recurso aos mesmos que a se avaliará a estabilidade da Ponte da Pedra no capítulo 6.

No **Capítulo 6** é abordado o caso de estudo, a Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela apresentando uma nota inicial sobre a evolução do tráfego e das características dos automóveis. Posteriormente são explicitados os passos a seguir no âmbito do estudo de uma estrutura deste tipo. Em seguida é abordada o sistema de gestão em que a ponte está inserida e o projeto do Manual de Manutenção de Pontes Históricas em Arco de Alvenaria de Pedra. O estudo da Ponte da Pedra inicia-se com a apresentação da sua localização e das técnicas de reconhecimento utilizadas: pesquisa histórica; inspeção visual e levantamento topográfico, fotogramétrico e de georadar. Posto isto, a estrutura é descrita, realiza-se uma inspeção visual realizada pelo autor. São apresentados os resultados do levantamento rigoroso realizado pela Arrow 4D e a caracterização dos materiais utilizados nas modelações no ABAQUS CAE. Por fim, são apresentados os softwares utilizados e os modelos de análise com as respetivas observações e conclusões.

No **Capítulo 7** pretende-se sintetizar as conclusões alcançadas com o estudo da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela e sugerir um conjunto de temáticas relacionadas com a ponte, cujo estudo seria importante para uma compreensão detalhada do comportamento da estrutura.



## 2. HISTÓRIA E EVOLUÇÃO

### 2.1. INTRODUÇÃO

As primeiras pontes erguidas pelo homem remontam à pré-história. Durante este período, com a evolução da civilização, surgiu a necessidade de transpor barreiras físicas naturais. A vontade de vencer estas barreiras levou o homem a utilizar o seu engenho e os recursos presentes na natureza, para construir as primeiras pontes. As primeiras estruturas deste tipo eram rudimentares, compostas usualmente por pedras alongadas, simplesmente apoiadas sucessivamente, para vencer pequenos vãos.

À medida que a civilização foi evoluindo, tanto em engenho como em conhecimento, estas simples estruturas passaram a ser mais complexas, duradouras e eficientes. O resultado deste processo que levou centenas de anos, são um conjunto de estruturas históricas como pontes, aquedutos, etc.

Ao longo deste capítulo, será abordada a evolução das pontes e de estruturas semelhantes de alvenaria em vários períodos da humanidade. Existirá especial destaque na caracterização do período romano, dado que a ponte em estudo remonta ao mesmo.

### 2.2. EVOLUÇÃO DO ARCO COMO SOLUÇÃO ESTRUTURAL EM PONTES

Erguidas no período pré-histórico, existem evidências de estruturas semelhantes a pontes com o fim de vencer pequenos curso de água. Devido a efemeridade das construções e ao facto de pertencerem a um período histórico longínquo, poucos foram os exemplares que sobreviveram à passagem do tempo. Estas pontes eram estruturas de baixa complexidade constituídas por pedra ou madeira. Na Figura 2.1 é possível observar uma ponte que remonta ao período pré-histórico construída com lajes de granito simplesmente apoiadas.



Figura 2.1 – Tarr Steps, Somerset, Inglaterra (Kühn, 2004)

As lajes de granito apoiam em dois pilares, constituídos também por pedra granítica, formando um pórtico de baixa altura. A repetição destas estruturas ao longo da largura do curso de água, traduz-se na ponte acima ilustrada. É assim possível efetuar a travessia com relativo conforto. A superfície de atravessamento é composta pelo topo dos pórticos e o seu funcionamento estrutural é equivalente a

uma viga simplesmente apoiada. As solicitações de flexão conduzem ao aparecimento de tensões de compressão e tração, que não tiram o máximo partido da resistência mecânica das pedras. A construção evolui de modo a diminuir ao máximo tensões de tração na alvenaria de pedra.

Com o tempo, o sistema estrutural das pontes foi sendo alterado. A solução da viga simplesmente apoiada evoluiu até aos vários tipos de arco que hoje conhecemos. Este foi um processo iterativo que, ocorreu ao longo do tempo, de modo a tirar partido do desempenho à compressão da alvenaria.

A ponte "Celta" de Castro Laboreiro, constituída por quatro vãos em alvenaria de pedra em forma de V invertido, é considerado o único exemplar deste género na Europa (N. C. M. de C. Rodrigues, 2008). Esta solução estrutural difere da viga simplesmente apoiada e caminha na direção do arco. Na Figura 2.2 é possível observar os vãos compostos por duas pedras planas em forma de V invertido apoiadas em pilares de pedra.



Figura 2.2 - Ponte "Celta" de Castro Laboreiro (Desconhecido, 2009)

Os primeiros arcos foram construídos na zona da Mesopotâmia pelos povos Sumérios e Egípcios, integrados em edifícios e templos. Mais tarde, começaram a ser utilizados como solução estrutural para pontes e aquedutos. As técnicas de utilização do adobe em arcos e abóbadas impulsionaram o desenvolvimento e a complexidade das estruturas em arco (N. C. M. de C. Rodrigues, 2008).

As primeiras iterações estruturais com semelhança aos atuais arcos designavam-se por arcos em consola, semelhantes ao representado na Figura 2.3, onde se observa uma representação esquemática destes. Esta iteração entre a viga e o arco foi utilizada na construção de cofres e de túmulos Egípcios (N. C. M. de C. Rodrigues, 2008)

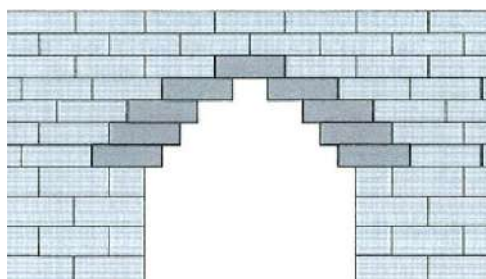


Figura 2.3 - Sistema de Arco em "consola" (N. C. M. de C. Rodrigues, 2008)

A utilização de blocos de adobe propiciou o desenvolvimento do arco como o conhecemos hoje. Os blocos eram colocados sem argamassa justapostos e sobrepostos de modo a ficarem em equilíbrio quando aplicado carregamento vertical no vão. Esta solicitação resulta do peso próprio de outros blocos colocados sobre o arco e das sobrecargas existentes. Além dos blocos de adobe, este tipo de arco podia ser executado em tijolo de barro ou alvenaria de pedra, no caso de se tratar de uma construção mais importante e duradoura.

As primeiras pontes de arco em alvenaria de pedra surgem da necessidade de criar uma estrutura capaz de permanecer imutável no tempo por muitos anos, sem que haja necessidade de realizar grandes trabalhos de manutenção. A estrutura deveria estar muito sobredimensionada, de modo a que perante qualquer solicitação (natural ou humana), não existisse dano.

A grande maioria das pontes de alvenaria de pedra foram construídas durante o período romano e o período medieval. A grandeza, o poder militar e organizacional do império romano traduziu-se num conjunto de infraestruturas, como estradas e pontes, que tinham como objetivo facilitar o controlo e a mobilidade de bens e pessoas no território. Com a queda do império e o início do período medieval, muitas das estruturas romanas continuaram a ser utilizadas conforme foram edificadas. Outras foram alteradas ou reconstruídas e novas pontes foram edificadas, à semelhança das anteriores. Este facto conduz a que existam frequentemente dúvidas na datação exata de algumas obras, obrigando a conhecer a história para classificar corretamente o período de construção de cada ponte.

### 2.3. PONTES ROMANAS

Foi descrito no ponto 2.2 o rigor e a importância da comunicação viária no império romano. As estradas romanas procuravam ligar povoações importantes com a mínima distância possível. Além deste critério, também procuravam executar as vias nos topos das montanhas de modo a favorecer a segurança dos seus exércitos e de outros utentes da via. Quando não era possível conciliar um traçado curto com o terreno envolvente, os romanos recorriam às pontes (Alves, 2009).

As pontes romanas obedecem a rígidas regras de simetria de modo a harmonizar o conjunto. Os arcos são geralmente iguais entre si e o tabuleiro é horizontal com a exceção de pontes pequenas onde este pode ser em cavalete (C. M. R. Costa, 2002). O facto de os arcos serem iguais e de existirem pedras salientes (cachorros) sugere a utilização de cimbres na construção.

A Figura 2.4 ilustra uma parte do aqueduto romano de Pont du Gard, erguido em alvenaria de pedra, no sul de França. Esta obra data do século I e faz parte de uma infraestrutura com um comprimento total de 50 km que permitia o abastecimento de 30.000 m<sup>3</sup> de água por dia à cidade de Nimes. O aqueduto é uma estrutura semelhante a uma ponte composto por 3 níveis distintos de arcos. No primeiro nível existe uma estrada e no terceiro nível uma conduta de água. Esta obra é ponte mais alta da antiguidade e a única que incorpora três níveis de arcos. Possui 49 m de altura e 275 m de comprimento e permite a transposição do rio Gard.

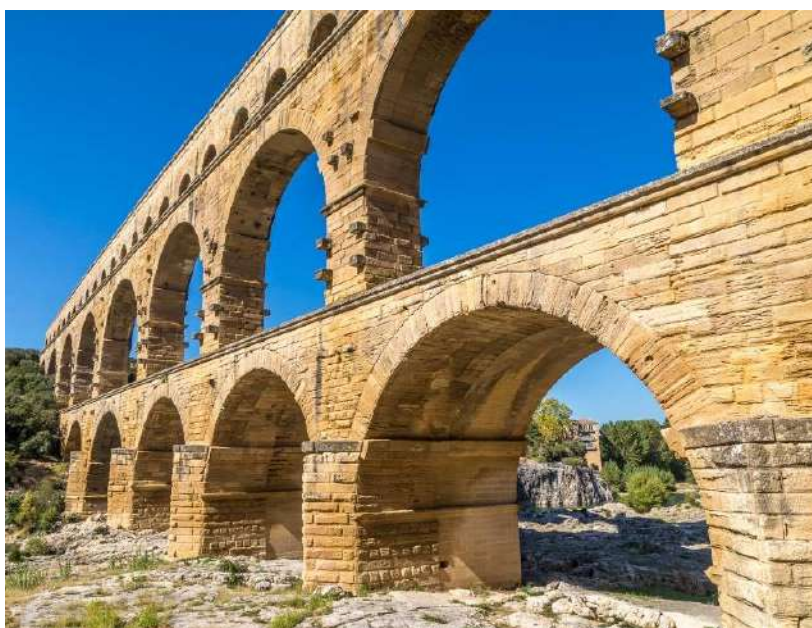


Figura 2.4 - Pont du Gard, Vers-Pont-du-Gard, França (Locking, 2018)

A forma predominante dos arcos era a volta perfeita composta por aduelas largas que podiam ser, ou não, consolidadas com argamassa pozolânica. O fecho dos arcos realizava-se com a colocação de uma aduela denominada de “keystone”, Figura 2.5. A pedra utilizada apresentava um aspeto almofadado ou rusticado com pequenos buracos devido ao uso do forxex (tenaz mecânica) na elevação e montagem dos blocos, Figura 2.6.

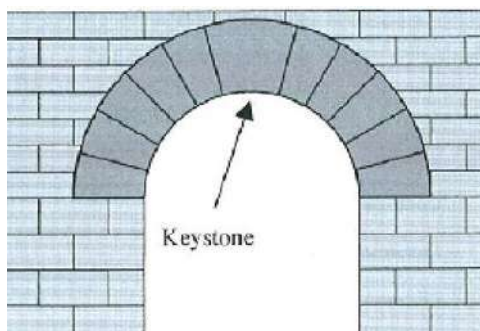


Figura 2.5 - Arco de volta perfeita (ilustração da aduela de fecho "keystone") (N. C. M. de C. Rodrigues, 2008)

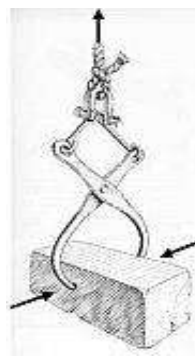


Figura 2.6 - Marcas de Forféx (N. C. M. de C. Rodrigues, 2008) (esquerda); Forféx ou tenaz mecânica (Soutinho, 2017) (direita)

Para materializar os pilares usavam-se ensecadeiras compostas por dois anéis de estacas de madeira e argila compactada. Posteriormente, dragava-se o interior das ensecadeiras até se atingir terreno capaz de suportar as cargas dos pilares ou realizavam-se micro estacas em madeira. Os pilares possuíam larguras entre  $1/5$  e  $1/3$  do vão (Silva, 2016). A elevada largura dos pilares conduz ao estreitamento de secção do leito do rio e, conseqüente, aumento da velocidade de escoamento, que provoca um desgaste excessivo dos pilares por infraescavação. Para evitar este fenómeno, eram construídos quebra-mares a montante e talhantes a jusante. Devido à preocupação com a geometria, estas estruturas podiam ser iguais em ambos os alçados da ponte.

A fim de evitar impulsos excessivos nos muros de tímpano e nos encontros, causados por elevados caudais de cheia, era comum construir olhais nos pilares e descarregadores de cheia nos encontros, acima da cota normal do curso de água.

Um dos exemplos mais marcantes de pontes de alvenaria de pedra em Portugal é a Ponte de Trajano localizada na cidade de Chaves. Esta obra foi erguida entre o final do século I e o início do século II e fazia parte do Itinerário XVII de Antonino que ligava a cidade de Braga a Astorga (Espanha). A ponte de Trajano é composta por doze arcos de volta perfeita com aduelas largas de granito que vencem uma distância de 150m sobre o rio Tâmega.



Figura 2.7 - Ponte de Trajano, Chaves, Portugal ("Ponte de Trajano," n.d.)

## 2.4. PONTES MEDIEVAIS E RENASCENTISTAS

Após a queda do império romano pouca atenção foi dada às estradas e pontes existentes até então. A construção de novas estruturas deste tipo foi também reduzida devido à instabilidade política e social. Este estado de estagnação construtiva e tecnológica verificou-se até ao início da idade média. Neste período, apesar de não se terem desenvolvido novas tecnologias estruturais, a morfologia das pontes alterou-se bastante.

A despreocupação com a simetria, a utilização de arcos ogivais e desiguais entre si, os tabuleiros em cavalete e os contrafortes massivos na zona dos pilares marcam as pontes da idade média. A juntar a estas características, é também importante sublinhar a não utilização de argamassa de consolidação entre juntas na maioria das estruturas, o que conduzia a um fraco comportamento ao esforço transversal (N. C. M. de C. Rodrigues, 2008).

A Ponte da Lagoncinha, analisada por (C. M. R. Costa, 2002), foi provavelmente, o resultado da reconstrução de uma antiga ponte romana. Esta ponte, composta por alvenaria de granito, realiza a travessia do Rio Ave na freguesia de Lousado. O tabuleiro apresenta-se em cavalete e os arcos possuem tipologias diferentes, uma vez que, três arcos são de volta perfeita e os outros são ogivais.

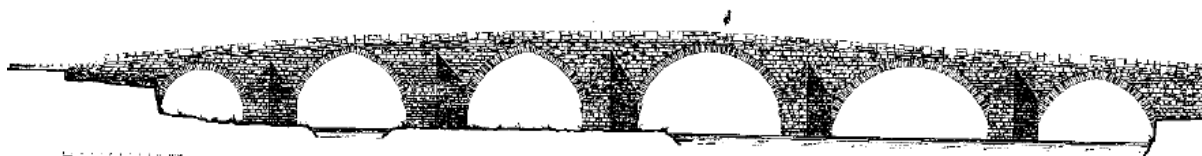


Figura 2.8 - Alçado montante da Ponte da Lagoncinha (C. M. R. Costa, 2002)

Os primeiros avanços construtivos ocorrem na época renascentista que se seguiu. Procurava-se que as estruturas aparentassem grande leveza através do uso de arcos abatidos e de pilares muito esbeltos. As proporções dos arcos alteraram-se drasticamente devido a vãos cada vez maiores e arcos mais abatidos. A diferença de forma dos arcos conduziu a impulsos maiores e conseqüentemente ao reforço dos encontros e dos pilares com muros de contraforte que estabilizavam a estrutura.

A Ponte Rialto, ilustrada na Figura 2.9, que foi inaugurada em 1591, atravessa o grande canal de Veneza com recurso a um só vão de 22,1 m. A forma da estrutura foi escolhida á semelhança de uma antiga ponte de madeira que existiu anteriormente no local. Característico da época renascentista, o arco apresenta-se com tipologia abatida e descarrega as cargas em ambos os encontros que estão fundados com recurso a estacas. A dimensão massiva dos encontros permite equilibrar os impulsos horizontais do arco.



Figura 2.9 - Ponte Rialto, Veneza, Itália (Prandi, 2013)

## 2.5. PONTES MODERNAS

O período moderno caracteriza-se pela existência de profundas mudanças tecnológicas quer ao nível dos materiais quer das técnicas construtivas. Com a revolução industrial, que decorreu na segunda metade do século XVIII e na primeira metade do século XIX, iniciou-se a produção em grande escala de materiais siderúrgicos como o ferro e o aço. A disponibilidade no mercado, o preço cada vez mais competitivo e a possibilidade de criar estruturas esbeltas impulsionou a expansão das estruturas metálicas. Mais tarde, deu-se o desenvolvimento do betão aliado a varões de aço que resultou no betão armado, no final do século XIX. Mais uma vez, as vantagens em utilizar esta nova tecnologia fizeram com que lentamente fosse ganhando adeptos até à massificação que hoje em dia se observa por todo o mundo.

Apesar do aparecimento de novos materiais, as pontes de alvenaria de pedra continuaram a ser utilizadas no desenvolvimento do sistema viário da época. Grandes exemplos de pontes rodoviárias e

ferroviárias em alvenaria foram construídos neste período. A tendência era criar estruturas cada vez mais arrojadas com recurso a pilares esbeltos e vãos cada vez maiores.

A ponte de La Concorde ilustrada na Figura 2.10 foi projetada pelo engenheiro francês de pontes Jean Perronet. O projeto era tão ousado para a época que a sua construção só se iniciou quinze anos depois do projeto ser apresentado. Esta ponte, composta por cinco arcos abatidos de 30m de vão num total de 153 m de comprimento, é um exemplo dos avanços tecnológicos alcançados no período renascentista (Clabaut, n.d.).



Figura 2.10 - Ponte de La Concorde, Paris, França

O viaduto de Göltzsch representado na Figura 2.11, foi construído entre 1846 e 1851 na Alemanha com o intuito de integrar a ligação ferroviária entre as cidades de Leipzig e Hof. Este viaduto é a maior construção em alvenaria de tijolo do mundo. Com um comprimento total de 574 m e 78 m de altura no ponto mais alto, esta obra é considerada um marco histórico da engenharia. Os cimbres foram construídos individualmente para cada arco dos 4 níveis existentes. O material utilizado é maioritariamente alvenaria de tijolo à exceção de alguns elementos (pilares), onde se usou granito devido à exigência da análise estrutural. O tijolo apesar de ser menos resistente que a alvenaria granítica, era a opção economicamente mais viável, pois os solos desta zona são ricos em argila, o que permitia produzir a alvenaria de tijolo no local.



Figura 2.11 - Viaduto de Göltzsch, Saxónia, Alemanha

Em Portugal, a ponte Duarte Pacheco inaugurada em 1941 na freguesia da Eja na foz no rio Tâmega é um belo exemplo de uma ponte de alvenaria de pedra do período moderno. A Figura 2.12 mostra uma fotografia aérea da estrutura onde é possível observar os seus três arcos de 40m de vão com muros de tímpano vazados em forma de arcos com 3,1 m de vão. Além desta estrutura existem ainda dois corpos (um em cada margem) compostos por dois arcos de 6m de vão e muros de alvenaria

aparelhada. As fundações desta ponte foram construídas com recurso a caixões de ar comprimido executados no local que chegaram a profundidades da ordem dos 25 m abaixo do leito do rio. (N. C. M. de C. Rodrigues, 2008)



Figura 2.12 - Ponte Duarte Pacheco, Porto, Portugal (Multimédia, n.d.)

A existência de granito em abundância e de boa qualidade na região fez com que a solução construtiva em alvenaria de granito fosse economicamente mais vantajosa em relação ao equivalente em betão armado. Foi também uma medida que pretendia dinamizar e criar emprego na região.

Os cimbres desta obra, devido aos elevados caudais de cheia do rio Tâmega, não podiam ser apoiados no leito do rio. Por forma a contornar este problema, foram construídos cimbres de elevada complexidade suspensos por cabos como é possível observar na Figura 2.13.

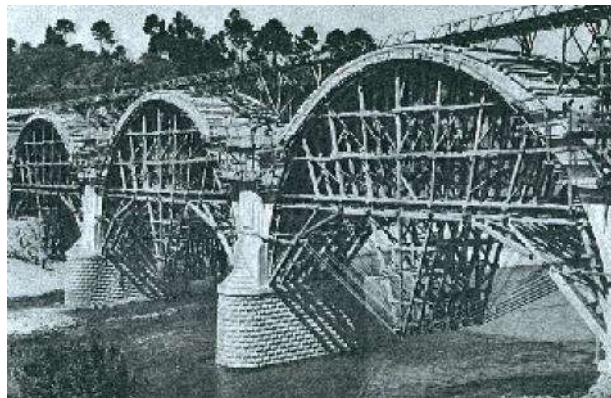


Figura 2.13 - Cimbres utilizados na Ponte Duarte Pacheco, Eja, Portugal (N. C. M. de C. Rodrigues, 2008)



### 3. COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

#### 3.1. INTRODUÇÃO

Ao longo deste capítulo serão apresentados os elementos estruturais e não estruturais que definem uma ponte em arco de alvenaria de pedra, as propriedades dos materiais de cada componente e o mecanismo de transmissão de carga. A Figura 3.1 ilustra um corte esquemático dos elementos de uma ponte em arco de alvenaria de pedra genérica que serão descritos nos próximos subcapítulos.

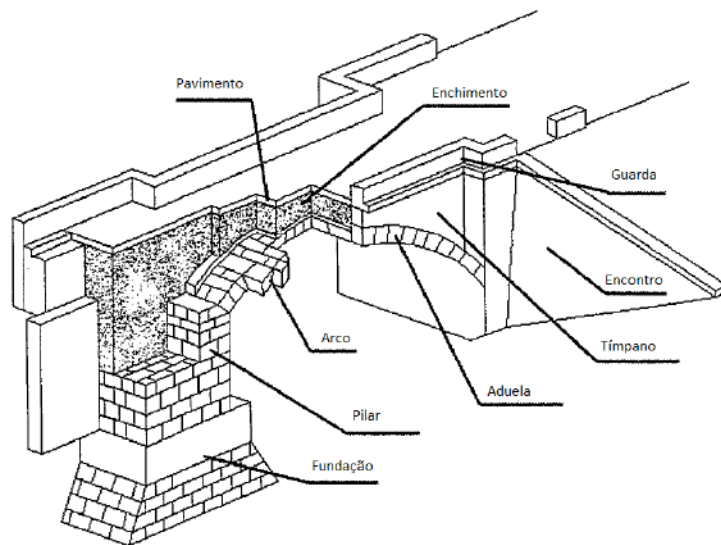


Figura 3.1 - Esquema dos elementos constituintes de uma ponte em arco de alvenaria (Álamo, 2001)

#### 3.2. ELEMENTOS ESTRUTURAIS

##### 3.2.1. FUNDAÇÕES

As fundações recebem as cargas provenientes dos arcos/pilares e encaminham-nas para o terreno. No caso do leito do rio ser composto por material rochoso com resistência suficiente para suportar as cargas da ponte, executam-se fundações diretas. No entanto, se o leito for composto por materiais de baixa resistência como solos aluvionares, realizam-se fundações indiretas, semelhantes ao exemplo da Figura 3.2, com recurso a ensecadeiras. As fundações indiretas recorrem à capacidade resistente de um conjunto de estacas que são solicitadas por atrito lateral e de ponta garantindo uma distribuição de esforços compatíveis com as características do terreno.

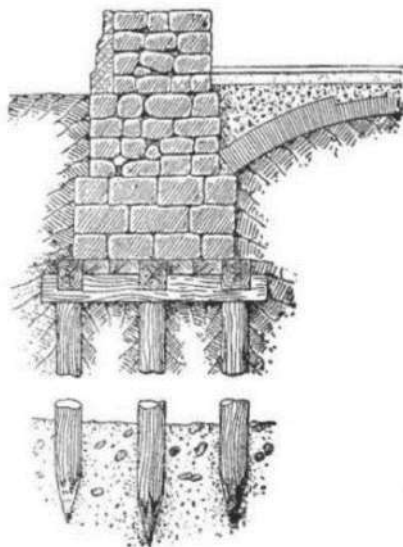


Figura 3.2 - Pormenor de fundação indireta com estacas de madeira (Junior, 2016)

### 3.2.2. PILARES E ENCONTROS

Os pilares encaminham as cargas dos arcos para as fundações e são maioritariamente solicitados por esforços de compressão. Em pontes de alvenaria de pedra do período romano e medieval, os pilares eram elementos massivos de baixa esbelteza e ocupavam uma parte razoável do leito do rio. Para evitar problemas de erosão e diminuir o impulso da água, os pilares eram dotados de talha mares e talhantes que serão abordados em 3.3.2.

Em pontes mono arco não existem pilares, sendo as cargas encaminhadas do arco para os encontros. Estes elementos, compostos por pedra e material de aterro conferem a estabilidade na direção longitudinal, impedindo-o de abrir ao ser solicitado.

### 3.2.3. ARCOS

O arco é o elemento estrutural que mais influencia o desempenho mecânico de uma ponte de alvenaria na direção longitudinal. Este elemento, devido à sua forma e ao peso próprio dos restantes elementos da ponte, é sobretudo solicitado à compressão. Para formar um arco, utilizam-se elementos de pedra talhados com precisão que se designam por aduelas. O material destas tem de garantir um bom desempenho a esforços de compressão e corte, e ainda devem ser virtualmente indestrutíveis à passagem do tempo. É conhecido que a alvenaria tem um bom comportamento a esforços de compressão, porém, quando solicitado à tração ou ao corte a sua capacidade resistente é muito inferior. Assim, para otimizar o comportamento do arco, é importante que as sobrecargas pontuais não sejam significativas quando comparadas com a cargas permanentes e que se mobilizem as reações horizontais nos apoios. (C. M. R. Costa, 2009)

A zona interior do arco designa-se por intradorso e a zona exterior por extradorso (Serra, 2013). É relevante salientar as seguintes definições: linha de impulsos e linha de centros ilustradas na figura Figura 3.3. Define-se por linha de pressões ou impulsos a união de todos os pontos entre aduelas onde se encontra a resultante das tensões normais de compressão (linha a vermelho) e linha de centros a linha que une os centros de massa das aduelas do arco (linha a azul). Como será visto no Capítulo 5, para que um arco se encontre em equilíbrio, a linha de pressões deverá estar totalmente contida dentro do arco.

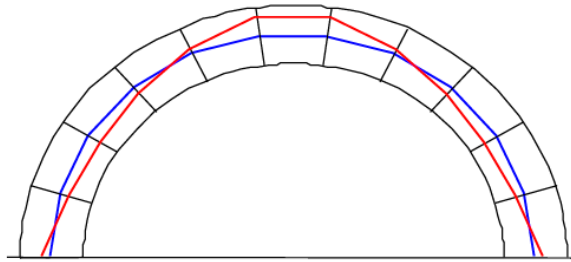


Figura 3.3 - Linha de impulsos e linha de centros (Morais, 2012)

A forma dos arcos pode ser variável consoante o vão ou o estilo arquitetónico dominante à data da sua construção. Na Figura 3.4 encontram-se representados diferentes perfis transversais de arcos de alvenaria.

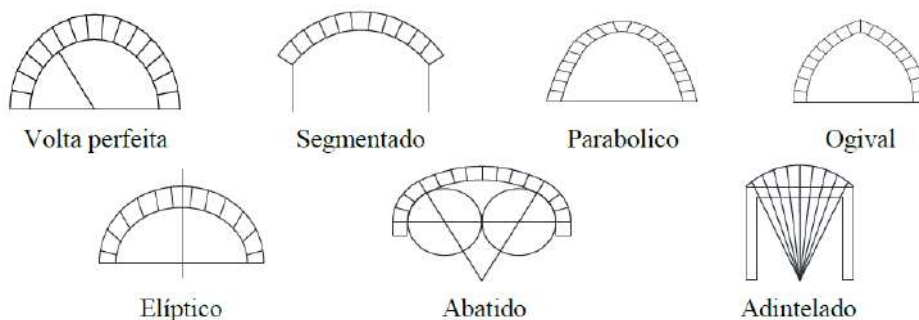


Figura 3.4 - Geometrias de arcos de alvenaria (Morais, 2012)

### 3.2.4. MUROS DE TÍMPANO

Os muros de tímpano são usualmente compostos por paramentos verticais de alvenaria. Estes iniciam-se em cima dos arcos e outros apoios e terminam à cota do tabuleiro da ponte. Quanto à sua forma, estes tendem a ser mais espessos na base e vão perdendo espessura na direção ascendente. O paramento interior destes muros pode ser inclinado em vez de plano por forma a otimizar o seu comportamento estabilizante. Estes elementos estruturais são dotados de grande rigidez e funcionam à semelhança de uma viga lateral alta, que impede deslocamentos verticais.

Na direção longitudinal, os muros de tímpano são responsáveis por estabilizar os arcos através da sua rigidez e do seu peso. Este efeito estabilizante impede a zona do extradorso do arco de realizar

deslocamentos e de formar rótulas entre aduelas. Na direção transversal, os muros de tímpano resistem ao impulso ativo gerado pelo enchimento. O impulso ativo é equilibrado através do peso próprio dos muros de tímpano e da ligação entre o muro e o arco. Os muros de tímpano podem possuir olhais (aberturas) que permitem a passagem de água em situações de cheia. Podem ainda ser reduzidos a arcos secundários como forma de aliviar as cargas permanentes nos arcos principais.

### 3.2.5. ENCHIMENTO

O enchimento é o elemento responsável por distribuir as cargas aplicadas ao nível do pavimento pelas restantes estruturas de suporte da ponte (arco e muros de tímpano). Ao aplicar uma carga pontual no tabuleiro da ponte, a intensidade da mesma vai-se dissipando à medida que se desenvolve um bolbo de pressões em profundidade de acordo com o modelo de Boussinesq representado na Figura 3.5, (Narasimha & Venkatramaiah, 2000). As linhas dividem zonas de igual pressão que vão sendo cada vez menores à medida que se aumenta a profundidade.

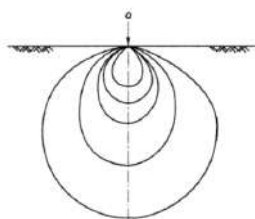


Figura 3.5 - Bolbo de pressões de Boussinesq (Narasimha & Venkatramaiah, 2000)

Segundo (C. M. R. Costa, 2009) o cone de degradação de cargas no solo apresentado na Figura 3.6, produz um ângulo que pode variar entre os 30° e os 45° consoante o tipo de solo. Quanto mais rígido e compacto for o material de enchimento, maior será o ângulo do cone e conseqüentemente menor será a intensidade do esforço transversal que atua no arco e nos muros de tímpano. A degradação de cargas ocorre de forma mais eficaz na direção transversal à ponte, devido ao efeito de confinamento do arco e dos muros de tímpano no enchimento.

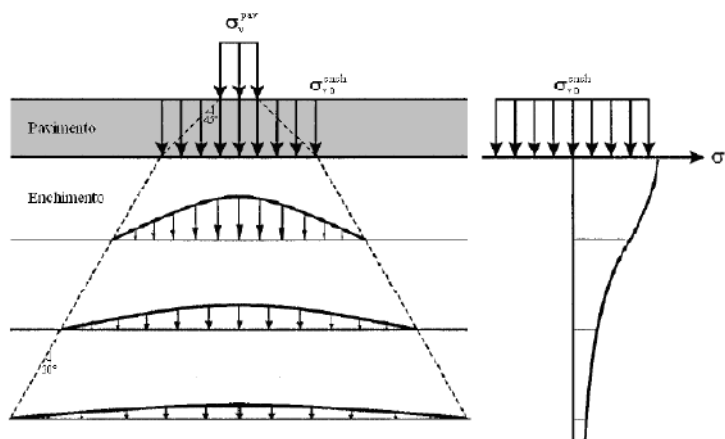


Figura 3.6 - Cone de degradação de cargas no enchimento (C. M. R. Costa, 2009)

### 3.3. ELEMENTOS NÃO ESTRUTURAIS

#### 3.3.1. PAVIMENTO

O pavimento é uma camada de material de desgaste que, tem como função transmitir as cargas do tabuleiro para o material de enchimento e protegê-lo contra a erosão. Esta camada pode ser executada com lajetas de pedra, betão armado ou betuminoso. Pode também ser composta por um conjunto de camadas distintas, à semelhança de uma estrada.

#### 3.3.2. TALHA MARES E TALHANTES

Os talha mares e os talhantes são estruturas de alvenaria que têm como função proteger os pilares contra a erosão e as fundações contra a infraescavação causada pelo escoamento do leito do rio. Os talha mares localizam-se na direção de montante e possuem uma forma triangular enquanto que os talhantes se localizam na direção de jusante e possuem uma forma plana. É possível encontrar exemplares de pontes onde a geometria dos talhantes é igual à dos talha-mares, por motivações estéticas. A Figura 3.7 esquematiza a passagem da água do leito do rio ao encontrar um pilar e a orientação das estruturas anti erosão que o protegem.

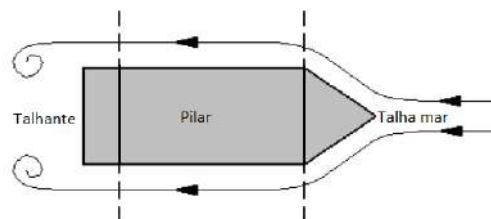


Figura 3.7 - Talha mar e talhante

#### 3.3.3. GUARDA CORPOS

Os guarda corpos são estruturas que visam proteger os utentes da via criando uma barreira física que os impede de ultrapassar os limites do tabuleiro. Estas estruturas são usualmente compostas pelo mesmo tipo de alvenaria utilizada nos arcos e muros de tímpano e possuem uma altura da ordem do metro em relação ao tabuleiro.

#### 3.3.4. GÁRGULAS E ORGÃOS DE DRENAGEM

Os órgãos de drenagem visam recolher e remover água ao nível do tabuleiro, encaminhando-a para fora da estrutura. Uma fraqueza das pontes de alvenaria de pedra advém da possibilidade de

ocorrerem infiltrações e movimentos de água pelo corpo da estrutura. A passagem da água pode remover material de enchimento, deixando vazios que reduzem a capacidade deste de distribuição de cargas. Além de alterar o enchimento, as infiltrações, podem remover ou enfraquecer a argamassa de assentamento presente entre blocos. A Figura 3.8 ilustra um dreno construído ao nível do arco onde é observável a escorrência de água (Lopes, 2012).



Figura 3.8 - Dreno localizado ao nível do arco (Lopes, 2012)

### **3.3.5. OUTROS ELEMENTOS NÃO ESTRUTURAIIS**

Para além dos elementos não estruturais referidos nos pontos anteriores, poderão ainda existir outros elementos, como por exemplo, passeios e guardas de segurança.

## **3.4. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS**

Os materiais de construção utilizados dividem-se em dois grupos: alvenaria e material de enchimento. Nos tópicos seguintes procede-se à descrição das principais características físicas e mecânicas dos materiais que compõem uma ponte de alvenaria. O seu comportamento é caracterizado para esforços de tração, compressão e corte.

### **3.4.1. ALVENARIA - MATERIAL**

A alvenaria pode ser composta por blocos cerâmicos ou por blocos de pedra, sendo que em Portugal é mais comum encontrar alvenaria de pedra em estruturas como pontes ou aquedutos. Para formar estruturas complexas, os blocos de pedra são colocados sobrepostos e justapostos com ou sem aplicação de argamassa nas juntas. O conjunto formado pelos blocos e pelas juntas pode ser tratado como um material compósito heterogéneo e descontínuo de comportamento anisotrópico.

O material pétreo possui uma estrutura heterogênea devido aos vários minerais que o constituem. As argamassas apresentam também uma estrutura heterogênea, devido às variações de temperatura e ao processo de endurecimento do ligante onde ocorre retração da argamassa. Estes processos fazem com que os materiais apresentem defeitos, zonas com diferenças de rigidez, variações de resistência mecânica e micro fendilhação.

Quando se impõem deformações crescentes nestes materiais, dá-se um fenómeno conhecido por amolecimento. O amolecimento consiste na perda gradual de resistência mecânica em função de um aumento contínuo de deformação no material ( $\sigma$ - $\delta$ ). Numa primeira fase, em que as micro fendas se encontram estáveis, estas crescem apenas com aumentos de carga de forma linear. O fim da fase de resposta elástica linear inicia o amolecimento e é marcado pela carga de pico, a partir deste ponto inicia-se a formação acelerada de macro fendas e o diagrama tensão-deslocamento ( $\sigma$ - $\delta$ ) apresenta uma curva não linear. A formação de macro fendas conduz a um estado de equilíbrio instável, tornando-se necessário aliviar o carregamento por forma a evitar uma propagação descontrolada das mesmas até ao colapso (Lourenço, 1996).

O amolecimento ocorre em sollicitações de compressão, de tração ou corte. A Figura 3.9 apresenta o gráfico ( $\sigma$ - $\delta$ ) de um material rochoso de comportamento quasi-frágil sujeito a um estado de compressão uniaxial. Como foi referido anteriormente, no início do carregamento desenvolve-se um troço elástico linear, ao aproximar-se do pico ( $f_c$ ), o material deixa de ser linear e quando atingida a tensão de pico, este deixa de acomodar aumentos de tensão. A área abaixo da curva ( $\sigma$ - $\delta$ ) representa a energia de deformação de compressão ( $G_c$ ).

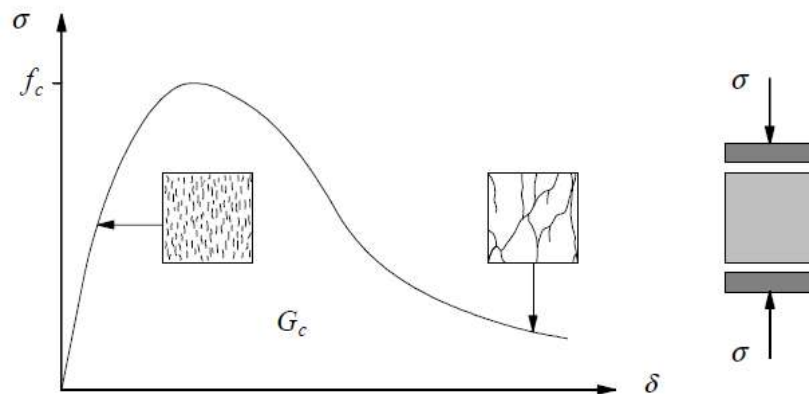


Figura 3.9 - Comportamento de um material quasi-frágil sujeito a compressão uniaxial (Lourenço, 1996)

O desempenho da alvenaria é regido pelo comportamento das unidades de pedra e das propriedades das juntas. De acordo com (A. W. Page, 1981), as juntas entre blocos formam planos de descontinuidade que representam fraquezas para a alvenaria, na medida em que pode ocorrer abertura, fecho ou até escorregamento. A dimensão, a orientação e posição relativa das juntas são características que têm grande influência sobre o comportamento da alvenaria. O programa de investigação do autor supramencionado incidiu no ensaio experimental de muretes de tijolo

quadrados com juntas argamassadas sujeitos a um carregamento biaxial, onde variava o ângulo entre a base e o plano horizontal e as tensões principais na alvenaria. A Figura 3.10 ilustra o sistema de ensaio utilizado pelo autor que recorria a placas de atrito reduzido (brush platen) para reduzir o atrito entre os espécimes e os pratos da prensa. O sistema tinha capacidade de aplicar carregamentos uniaxiais e biaxiais graças aos dois atuadores designados na figura por (A) e (B) e à rotação do murete.

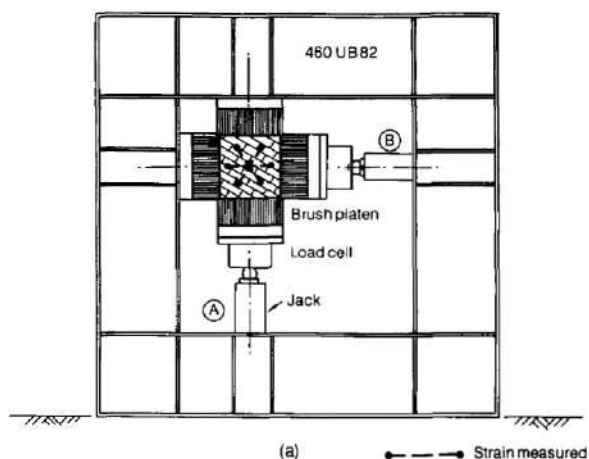


Figura 3.10 - Sistema de Ensaio (A. W. Page, 1981)

O trabalho experimental realizado por (A. W. Page, 1981), foi posteriormente complementado por (Dhanasekar, Page, & Kleeman, 1985) que ensaiou 180 painéis de alvenaria de tijolo com 5 rotações de base diferentes, para ter em conta diferentes orientações do carregamento. Esta investigação procurou definir uma superfície de rotura para a alvenaria, em função da tensão normal em ambas direções e da tensão de corte ( $\sigma_n, \sigma_p, \tau$ ), que pudesse prever a combinação das tensões no momento da rotura. Concluiu-se que a superfície se traduz em três cones elípticos com zonas correspondentes a diferentes tipos de rotura. Cada tipo de rotura é influenciado pela orientação das tensões principais em relação à orientação das juntas. A Figura 3.11 sistematiza os modos de ruína possíveis de ocorrer.

Angle $\theta$	Uniaxial tension	Tension compression	Uniaxial compression	Biaxial compression
0°				
22.5°				
45°				
67.5°				
90°				

Figura 3.11 – Modos de ruína observáveis em paredes de alvenaria com juntas argamassadas (Dhanasekar et al., 1985), citado por (Lourenço, 1996)

O estudo realizado por (Andreas, 1996) partiu da premissa que, além de conhecer o comportamento dos blocos e da argamassa de ligação, é também necessário compreender o seu comportamento em conjunto. Discordou da superfície de rotura composta por três cones elípticos, apresentada por (Dhanasekar et al., 1985) e adaptou os critérios de rotura de Mohr-Coulomb, Saint Venant e Navier de modo a prever o estado de tensões instalado numa parede onde se espera que ocorram um dos três modos de rotura fundamentais. Segundo o autor, os três modos de rotura fundamentais definem-se por: escorregamento nas juntas argamassadas; fendilhação de blocos e separação das juntas e corte no plano médio dos blocos.

Existem várias tipologias de alvenaria em função das características dos blocos e das juntas. Os blocos podem ser regulares ou irregulares e as juntas podem ser argamassadas ou secas (sem argamassa). Estas variações conduzem a diferentes condições de aderência entre blocos e consequentemente diferentes comportamentos mecânicos. O comportamento da alvenaria com juntas secas tem sido menos investigado em comparação com alvenaria de juntas argamassadas (G. F. M. Vasconcelos, 2005).

Para interpretar o comportamento deste material compósito é necessário conhecer em detalhe a resposta a solicitações de tração, compressão e corte, tanto dos blocos como das juntas. Além das solicitações uniaxiais, é mais comum encontrar solicitações do tipo biaxial em estruturas reais, desta forma, é relevante conhecer o comportamento da alvenaria em ambos os tipos de solicitação. Em função do tipo de carregamento e das condições de apoio, a alvenaria pode colapsar dentro do plano de atuação das tensões ou para fora desse plano. O colapso de alvenaria para fora do plano será abordado em 4.3.1.

As estruturas de alvenaria, típicas do Norte de Portugal, são muitas vezes compostas por unidades de granito e juntas secas. Como este trabalho tem como principal objetivo o estudo da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela, cuja alvenaria é composta por blocos de granito com juntas secas, nos parágrafos seguintes, será abordado este tipo específico de material compósito.

As rochas, sendo materiais de origem natural, podem apresentar um vasto conjunto de defeitos que afetam negativamente a sua resposta a solicitações mecânicas. A foliação, os planos de xistosidade e a composição mineralógica conferem à rocha um comportamento anisotrópico acentuado. A degradação ambiental, provocada pelos agentes erosivos, também afeta o decréscimo de resistência mecânica.

## **TRAÇÃO**

Como foi referido anteriormente, a resistência da alvenaria à tração é muito baixa, considerando-se muitas vezes nula para efeitos de cálculo. Esta característica advém de a resistência à tração dos blocos de pedra ser, em regra, inferior a 10% da sua resistência à compressão. Os carotes de granito extraídos da Ponte da Lagoncinha e ensaiados por (C. M. R. Costa, 2002) através do ensaio de

compressão diametral revelaram tensões de rotura à tração entre 3,40 e 6,96 MPa. Os valores observados à compressão variam entre 38,78 e 68,80 MPa, verificando a relação de 10% entre a resistência tração e a resistência à compressão.

(Angelillo, Lourenço, & Milani, 2014) referem que os velhos mestres maçons, na sua época, podiam erguer estruturas sem recorrer a testes que comprovassem as características e a resistência dos materiais. Hoje em dia, é necessário conhecer a fundo as características dos materiais empregues em estruturas. A Figura 3.12, elaborada por (Pluijm, 1999) corresponde a um gráfico tensão-deslocamento de uma unidade alvenaria de tijolo maciço sujeita a esforços de tração. A área abaixo da curva ( $G_{ft}$ ) corresponde à energia de superfície por unidade de comprimento necessária para abrir uma fenda. O comportamento frágil do material é observável pela forma com este entra em rotura para um baixo nível de deformação.

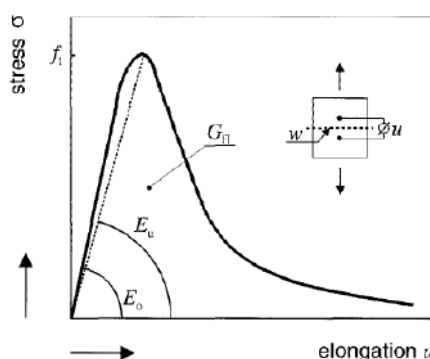


Figura 3.12 – Gráfico tensão-deslocamento de um bloco de comportamento frágil (Pluijm, 1999)

O processo de caracterização e evolução das macro fendas foi descrito detalhadamente por (G. F. M. Vasconcelos, 2005) e encontra-se representado na Figura 3.13. No primeiro troço do diagrama, o material encontra-se em fase elástica e com um comportamento linear à medida que aumenta a tensão normal de tração. No segundo troço inicia a fase de deformação plástica onde se começam a formar micro-fendas no material até se atingir a tensão de pico. Ao se atingir a tensão de pico, desenvolve-se o terceiro troço, que se caracteriza pela propagação de macro-fendas a um ritmo que permite a sua perceção a olho nu. Por fim, o mecanismo de transmissão de tensões, devido ao efeito de “bridging”, forma o quarto troço onde se dá o amolecimento do material.

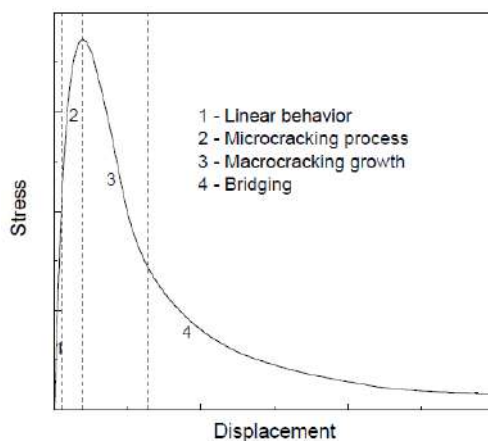


Figura 3.13 – Evolução da abertura de fenda num gráfico de tensão-deslocamento (G. F. M. Vasconcelos, 2005)

## COMPRESSÃO

A elevada resistência à compressão dos blocos de pedra faz com que a alvenaria de pedra tenha também uma boa resistência à compressão. Ao contrário da resistência à tração, enunciada anteriormente, a resposta da pedra a esforços de compressão pode alcançar tensões da ordem dos 100 MPa. (C. M. R. Costa, 2002) realizou carotes de pedra na Ponte da Lagoncinha e executou ensaios que permitiram determinar as características mecânicas dos granitos que constituem a ponte. Através de ensaios de compressão uniaxial de quatro carotes foram registadas tensões de compressão entre 38,78 e 68,80 MPa, como já atrás referido. O trabalho experimental de (G. F. M. Vasconcelos, 2005), que incidiu na caracterização mecânica de granitos provenientes de diversas zonas do Norte de Portugal, registou tensões de compressão entre os 26,0 e os 159,8MPa , com coeficientes de variação entre o 3,1% e os 11,1%. Este estudo contempla granitos provenientes de zonas como Braga, Guimarães, Ponte de Lima, Mondim de Basto, entre outros locais, com e sem foliação e degradação ambiental.

O comportamento frágil das rochas pode ser descrito segundo a Figura 3.14 elaborada por (Eberhardt, Stead, & Stimpson, 1999) a partir da investigação de (Martin, 1993). Os patamares de referência caracterizam-se da seguinte forma: i) fecho de fendas ( $\sigma_{cc}$ ); ii) início do aparecimento de micro-fendas ( $\sigma_{ci}$ ); iii) início do aparecimento de macro-fendas( $\sigma_{cd}$ ); iv) tensão de pico ( $\sigma_{ucs}$ );

Durante o primeiro troço, ocorre o fecho das fendas presentes no material, nesta fase o diagrama tensão-extensão ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) apresenta um andamento não linear e a rigidez axial aumenta. Uma vez atingida ( $\sigma_{cc}$ ), inicia-se a fase resposta elástica linear até se atingir ( $\sigma_{ci}$ ). Com o aumento de tensão, inicia-se o aparecimento de micro-fendas com a orientação da tensão principal dominante até se alcançar ( $\sigma_{cd}$ ). Este ponto marca o momento em que se começam a desenvolver macro-fendas de forma descontrolada até se atingir a tensão de colapso ( $\sigma_{ucs}$ ). A partir deste ponto, o material esgota a sua capacidade resistente, e dá-se o amolecimento do mesmo.

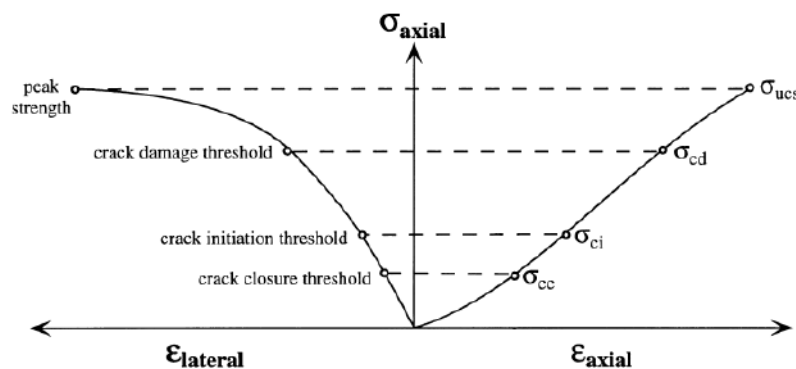


Figura 3.14 – Diagrama Tensão-Extensão ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) ilustrativo dos patamares de evolução de abertura de fendas (Eberhardt et al., 1999)

A Figura 3.15 relaciona a tensão de colapso ( $\sigma_{ucs}$ ) com os restantes patamares do gráfico ilustrado na Figura 3.14. É desta forma possível comparar cada etapa com a respetiva percentagem da tensão de colapso ( $\sigma_{ucs}$ ).

Crack threshold	Normalized relationship
Number of tests	10
Crack closure, $\sigma_{cc}$	$0.23\sigma_{UCS} (\pm 0.02)$
Crack initiation, $\sigma_{ci}$	$0.39\sigma_{UCS} (\pm 0.03)$
Secondary cracking, $\sigma_{ci2}$	$0.51\sigma_{UCS} (\pm 0.03)$
Crack coalescence, $\sigma_{cs}$	$0.65\sigma_{UCS} (\pm 0.04)$
Crack damage, $\sigma_{cd}$	$0.75\sigma_{UCS} (\pm 0.05)$

Figura 3.15 - Limites de fendilhação normalizados para ensaios de compressão axial de granito rosa de "Lac du Bonnet, Manitoba, Canadá" (Eberhardt, Stead and Stimpson, 1999)

(Martin, 1993) concluiu referindo que a abertura de fendas se inicia para níveis de compressão da ordem dos  $0,4\sigma_c$  (tensão de compressão para rocha não confinada). Entre  $0,4\sigma_c$  e  $0,8\sigma_c$  a fendilhação continua a ocorrer à medida que se aumentam as tensões de compressão. Ao se atingir  $0,8\sigma_c$ , alcança-se a tensão máxima para qual o material se encontra estável. A partir deste ponto, a sollicitação pode aumentar desde que seja por um período curto de tempo.

O comportamento da alvenaria com juntas secas depende fortemente da rugosidade entre as unidades de pedra e do imbricamento. (G. F. M. Vasconcelos, 2005) testou o comportamento de alvenaria composta por blocos de pedra com diferentes tipos de junta sujeitos a um carregamento monotónico de compressão uniaxial. Verifica-se que os primas de juntas lisas (PR\_S) apresentam um comportamento similar ao ensaio à compressão de um único bloco de pedra. A alvenaria de juntas rugosas (PR\_SR) exhibe uma tensão colapso inferior e extensões superiores quando comparado com (PR\_S). À medida que se aumenta a carga, as rugosidades das juntas cedem e os blocos aproximam-se. Este processo vai-se repetindo até a junta ser nivelar e vai melhorando a superfície de contacto ente blocos.

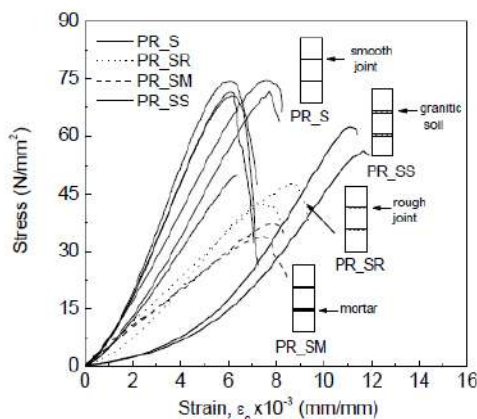


Figura 3.16 - Comportamento à compressão de alvenaria em função do tipo de junta (G. F. M. Vasconcelos, 2005), citado por (C. M. R. Costa, 2009)

**CORTE**

De acordo com (Ramos, 2002) o comportamento das juntas entre duas unidades de alvenaria pode ser corretamente traduzida pela equação (3.1) quando se aplicam esforços de pré-compressão não muito elevados.

$$\tau = c + \sigma \tan(\phi) \quad (3.1)$$

Nesta expressão,  $c$  é a coesão ou tensão residual de corte que se considera igual a zero quando aplicado a unidades de alvenaria de junta seca,  $\tan(\phi)$  é a tangente do ângulo de atrito interno da junta,  $\sigma$  a tensão normal e  $\tau$  a tensão tangencial.

O comportamento de uma junta seca ao corte depende fortemente da rugosidade de ambas as superfícies de contacto. (Ramos, 2002) ensaiou ciclicamente provetes com superfícies lisas, superfícies cortadas com uma serra de disco e superfícies bujardadas. Concluiu que a rotura das juntas por corte aproxima-se da Lei de Mohr-Coulomb para superfícies serradas e bujardadas, sendo o valor médio da tangente do ângulo de atrito entre 0.63 e 0.74.

O estudo realizado (van Zijl, 2004) incide particularmente na importância do ângulo de dilatância  $\psi$  na previsão do comportamento da alvenaria. A dilatância é a relação entre o deslocamento normal e do deslocamento paralelo ao plano. Tal como indicado na Figura 3.17, para tensões normais cada vez maiores, o deslocamento normal ao plano é cada vez menor. O autor conclui que, ao se utilizar um valor constante para o coeficiente de dilatância, corre-se o risco de sobrestimar a capacidade resistente ao corte da alvenaria.

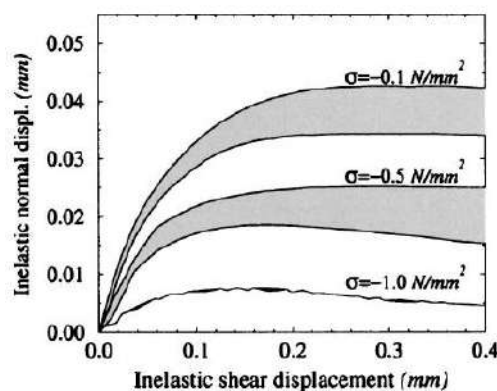


Figura 3.17 - Deslocamento dilatante normal em relação após plastificação por corte da alvenaria (Van der Pluijm, 1992), citado por (van Zijl, 2004)

(G. Vasconcelos & Lourenço, 2009) simplificam a equação (3.1) substituindo  $\tan(\phi)$  por  $\mu$  que representa o coeficiente de atrito entre as superfícies. Indicaram 0.69 para o valor de  $\mu$  quando aplicado a superfícies graníticas e concluíram que o tipo de rocha não traduz o valor de  $\mu$ , mas sim a

rugosidade das superfícies. A tensão de compressão ( $\sigma$ ) desempenha um papel crucial na resistência ao corte como se pode observar na equação (3.2).

$$\tau = c + \sigma \cdot \mu \quad (3.2)$$

(C. M. R. Costa, 2009) distingue as diferenças entre o comportamento de juntas lisas e juntas rugosas, ambas sem argamassa de assentamento. No caso de se tratar de juntas lisas, a equação (3.2), baseada no critério de rotura Mohr-Coulomb, pode ser utilizada para prever a rotura por corte, onde ( $c$ ) corresponde a zero. Caso as unidades de alvenaria possuam rugosidade significativa, existem dois cenários de rotura possíveis, ilustrados na Figura 3.18. No primeiro cenário (lado esquerdo da figura), a tensão normal é suficientemente elevada para que não ocorra dilatância e a rugosidade é cortada pela sua base. Para este caso, a equação (3.2) é válida até à fratura da rugosidade, onde ( $c$ ) corresponde a zero, numa fase posterior, ( $c$ ) toma um valor diferente de zero que expressa a coesão entre os dois blocos. No segundo cenário, a tensão normal, por ser nula ou de baixa intensidade, não impede a ocorrência de dilatância, que se expressa pelo ângulo ( $i$ ) (lado direito da figura).

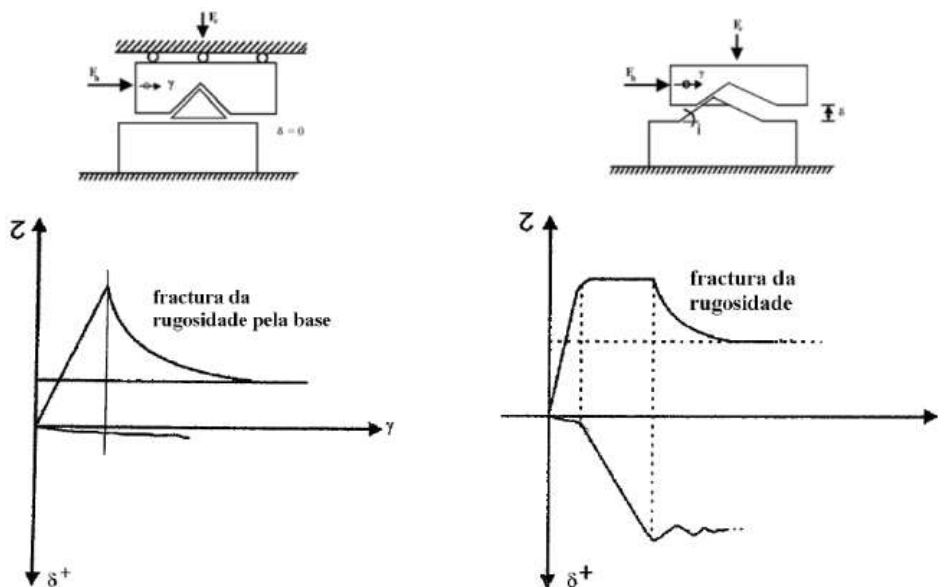


Figura 3.18 - Comportamento de uma junta sem dilatância (esquerda) e com dilatância (direita), (Campos e Matos 1986) citado por (Costa, 2009)

### 3.4.2. ENCHIMENTO – MATERIAL

O material de enchimento é composto por partículas de granulometrias muito diversas e pode variar desde um solo fino até à grandeza de um cascalho. Em Portugal é comum encontrar estruturas com enchimento constituído por material solto com granulometrias extensas (C. M. R. Costa, 2009).

A constituição do material de enchimento pode ser diretamente comparada com um solo, dado que o material se encontra sujeito a um estado de tensão triaxial. A cedência por corte pode ser descrita pelo critério de Mohr-Coulomb que relaciona a coesão do material ( $c'$ ) com a tensão de consolidação ( $\sigma'_c$ ) e com a tangente do ângulo de atrito interno ( $\phi'$ ).

$$\tau' = c' + \sigma'_c \tan(\phi') \quad (3.3)$$

A relação tensão-deformação é linear durante a fase elástica e após a cedência altera o seu comportamento. Nessa fase torna-se necessário recorrer a leis de plasticidade adequadas para descrever o comportamento não linear do enchimento.

A resposta dos materiais granulares a solicitações de corte depende do imbricamento e do atrito entre as partículas. Considera-se que a coesão é nula ( $c'=0$ ) para solos granulares e por isso, caso se trate de um enchimento granular, a expressão (3.1) é apenas regida pela tensão de consolidação ( $\sigma'_c$ ) e pelo ângulo de atrito interno ( $\phi'$ ). O ângulo de atrito interno é influenciado pela compacidade do material, pela uniformidade e pelo tamanho das partículas.

O mecanismo de corte ocorre quando existe rolamento entre grãos. A variação volumétrica dos materiais granulares depende fortemente dos vazios existentes no material. No caso de ser um solo muito compacto, este tende a expandir por corte porque é necessário que as partículas de solo subam sobre outras partículas para se reorganizarem. No caso de se tratar de um solo pouco compacto, o rolamento de partículas provoca uma diminuição de volume, pois existem espaço vazios por onde se podem distribuir as partículas. A variação de volume é influenciada pela dilatância, que no caso dos solos, se expressa através de ( $\psi$ ).

$$\tau' = c' + \sigma'_c \tan(\phi' + \psi') \quad (3.4)$$

### 3.5. MECANISMO DE TRANSMISSÃO DE CARGAS

As pontes em arco de alvenaria de pedra dependem do seu peso próprio para obter estabilidade estrutural, o que obriga ao consumo de grandes quantidades de material. Desta forma é cómodo que

os materiais sejam provenientes da zona de implantação da ponte. De outra forma seria necessário alocar recursos para o transporte de elevadas quantidades de material.

Para se entender corretamente o comportamento de uma ponte de alvenaria de pedra, é necessário avaliar a interação entre os componentes estruturais enunciados em 3.2 tanto longitudinal como transversalmente. Na Figura 3.19 encontra-se representado em esquema um corte longitudinal de uma ponte de alvenaria de pedra genérica.

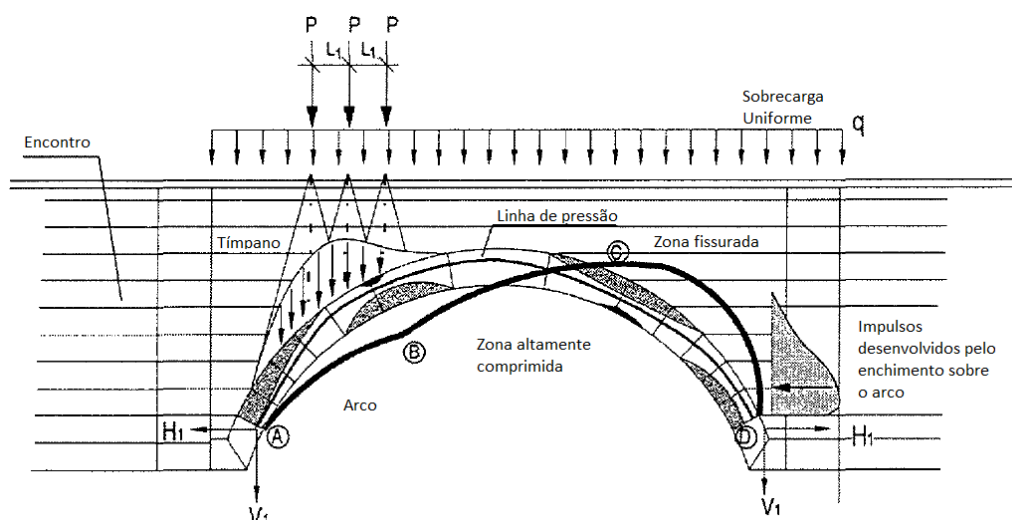


Figura 3.19 - Mecanismo de cargas longitudinal (Álamo, 2001) (*adaptado*)

O mecanismo de transmissão de cargas verticais encaminha o peso próprio e as sobrecargas ( $p$  e  $q$ ) desde o tabuleiro até à fundação passando pelo enchimento e pelo arco. O arco é o elemento responsável pelo equilíbrio deste sistema através das reações verticais ( $V_1$ ) e dos impulsos horizontais ( $H_1$ ). Na figura anterior observa-se o cone de degradação originado pelas sobrecargas pontuais ( $p$ ) e o efeito estabilizador do enchimento sobre o arco. É possível também observar os pontos A, B, C e D que representam as rótulas plásticas de um mecanismo de rotura de quatro rótulas que será abordado mais adiante em (4.2.1), o traçado da linha de impulsos/pressões dentro das aduelas do arco e a deformada do arco representada com traço grosso de forma exagerada.

Na Figura 3.20 encontra-se representado em esquema, um corte transversal de uma ponte de alvenaria de pedra genérica. O mecanismo de transmissão de cargas encaminha o peso próprio e as sobrecargas ( $p$ ) até aos muros de tímpano através dos impulsos horizontais representados na referida figura. Este mecanismo depende do comportamento dos muros de tímpano, da interação destes com o enchimento e com o arco.

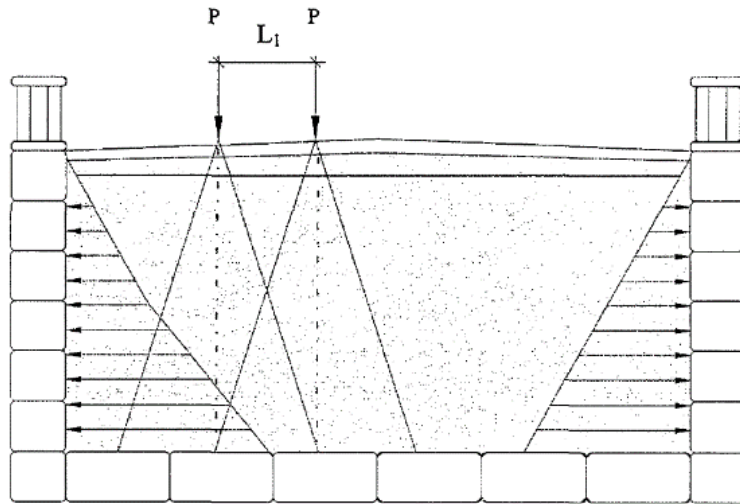


Figura 3.20 - Mecanismo de cargas transversal (Álamo, 2001) (*adaptado*)



## 4. MODOS DE ROTURA

### 4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é relevante expor o conceito de Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Utilização (ELUt). O ELU define as condições em que a capacidade resistente da estrutura se esgota, comprometendo a segurança das pessoas e/ou da estrutura. O ELUt define as condições em o funcionamento da estrutura, o conforto dos utentes, e a aparência global são afetadas. O conhecimento dos modos de rotura é essencial para estabelecer as condições de ELU e ELUt.

Os modos de rotura das pontes de alvenaria em arco de pedra podem ocorrer tanto no mecanismo de carga longitudinal como no mecanismo transversal e manifestam-se de diferentes formas. É relevante conhecer as características dos cenários de rotura pois, estes permitem compreender a degradação das pontes e avaliar a sua integridade estrutural.

A campanha de ensaios executados em pontes à escala real pelo “*Transport and Road Research Laboratory*”, ajudou a conhecer e a caracterizar os modos de rotura associados ao arco, (J. Page, 1987). O laboratório anterior, sediado no Reino Unido, atua na área de consultoria de transportes e investigação científica desde 1933. A investigação consistiu em aplicar uma carga vertical de faca entre  $\frac{1}{4}$  e  $\frac{1}{2}$  de vão, perpendicular ao tabuleiro, por patamares até ao colapso. Com isto pretendia-se aferir a veracidade dos resultados obtidos pelo método MEXE que será explicado mais à frente em 5.2.5 (J. Page, 1987). Durante os incrementos de carga, observaram-se os mecanismos desenvolvidos, bem como a influência dos muros de tímpano e do enchimento sobre o arco. Esta campanha realizou um total de treze ensaios em pontes com diferentes materiais, vãos, perfis e arcos. Consoante a ponte, o material da alvenaria era composto por tijolo, granito ou calcário, os vãos variavam entre os 4,95 m e os 18.30 m, o tabuleiro podia ser plano ou inclinado e os arcos podiam ser compostos por uma ou três camadas de alvenaria com formato parabólico, elíptico ou segmental.

O modo de rotura é determinado pelo comportamento diferenciado que existe entre o mecanismo longitudinal e o mecanismo transversal, pelo comportamento isolado de cada elemento estrutural, pelo tipo de material e pela interação entre elementos estruturais adjacentes, (C. M. R. Costa, 2009).

Ao longo deste capítulo pretende-se expor os mecanismos de rotura possíveis de ocorrer, descrever a forma como estes se manifestam e clarificar as causas do seu aparecimento.

### 4.2. ROTURAS NA DIREÇÃO LONGITUDINAL

As roturas na direção longitudinal estão associadas à capacidade resistente e ao comportamento do arco. Ainda assim, é importante observar a influencia dos muros de tímpano e do enchimento uma vez que, a sua rigidez e peso próprio condiciona o mecanismo e o tipo de rotura.

Os seguintes mecanismos podem-se desenvolver associados a roturas na direção longitudinal:

- Mecanismos de rótulas no arco
- Snap through de 3 rótulas
- Mecanismos Multi-arco
- Esmagamento de aduelas
- Escorregamento de aduelas

#### 4.2.1. MECANISMO DE QUATRO E CINCO RÓTULAS

Os mecanismos de rotura no arco com quatro (esquerda) e cinco rótulas (direita) são apresentados na Figura 4.1. Estas situações ocorrem devido à aplicação de cargas pontuais com magnitude considerável a  $1/3$  e  $1/2$  do vão respetivamente. A linha de impulsos encontra-se representada em ambos os casos e é possível observar a formação de rótulas plásticas nos pontos em que esta toca os limites das aduelas, tanto no intradorso como no extradorso. Pelo número de rótulas existentes pode-se concluir que a rotura com a formação de quatro rótulas é o cenário condicionante dado que necessita de menos energia para se desenvolver, (C. M. R. Costa, 2009).

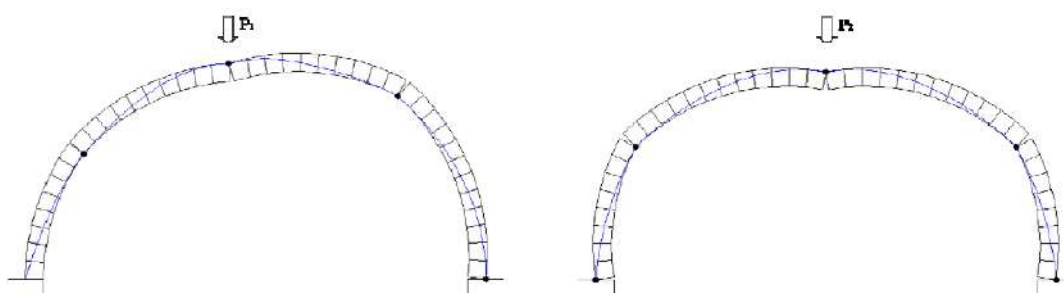


Figura 4.1 - Mecanismo de quatro e cinco rótulas (C. M. R. Costa, 2009)

A qualidade dos muros de tímpano e do enchimento são fatores condicionantes para este tipo de rotura. A rigidez e o peso próprio destes elementos distribuídos sobre o arco, tende a estabilizá-lo e a impedir formação de rótulas plásticas.

Este tipo de roturas ocorreu na ponte de Preston e na ponte de Prestwood, ambas com um único vão. Estes dois exemplares foram utilizados no programa de investigação desenvolvido pela “*Transport and Road Research Laboratory*”. A ponte de Preston foi carregada a  $1/3$  de vão e colapsou devido ao esmagamento do arco. Houve evidências de formação de um mecanismo de rótulas no arco que não se desenvolveu devido à ação estabilizadora dos muros de tímpano e do enchimento. A ponte de Prestwood que inicialmente apresentava deformações e sinais de fragilidade estrutural foi carregada a  $1/4$  de vão e colapsou segundo um mecanismo de quatro rótulas ilustrado na Figura 4.2 (J. Page, 1987).



Figura 4.2 - Ponte de Prestwood momentos antes do colapso (J. Page, 1987)

#### 4.2.2. “SNAP THROUGH” DE TRÊS RÓTULAS

O mecanismo de “*Snap through*” de três rótulas é um caso particular que pode ocorrer associado aos mecanismos de colapso de quatro e cinco rótulas. Esta rotura é característica de arcos abatidos onde possam ocorrer movimentos horizontais dos encontros e do enchimento e movimentos verticais do arco.

O modelo representado na Figura 4.3 foi proposto por Wang e Harvey (1991) com o intuito de avaliar a carga crítica de colapso. O mecanismo proposto de “*Snap through*” é composto por três rótulas onde (P) representa a carga crítica de colapso, (H) os impulsos horizontais transmitidos pelo arco aos encontros, (d) o deslocamento vertical, (h) a altura entre duas rótulas consecutivas e  $k$  a rigidez dos encontros. Este modelo é regido pela forma e pela rigidez do arco que se expressa através da relação entre ( $d_{cr}$ ) e  $h$  enunciada na figura.

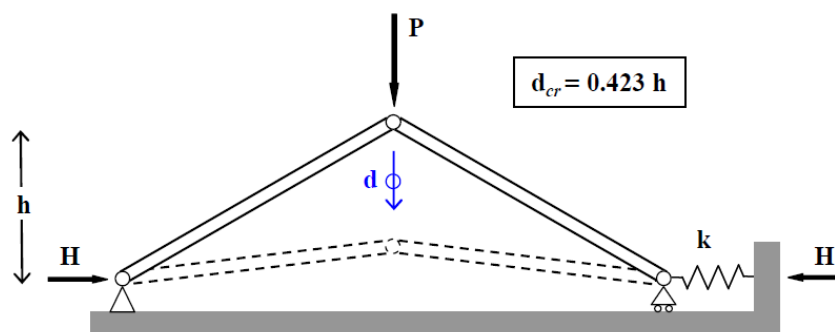


Figura 4.3 – Mecanismo de rotura por “Snap Through”, adaptado de (Wang e Harvey, 1991) (C. M. R. Costa, 2009)

A ponte de Torksey foi submetida a um carregamento pontual localizado a  $\frac{1}{4}$  de vão, por patamares de carga, até se atingir a rutura. O mecanismo de colapso deu-se por “*Snap through*” como se pode observar na Figura 4.4, que ilustra o alçado norte da ponte de Torksey breves momentos antes do colapso. Este ocorreu de forma não simétrica dado que começou a tomar forma no alçado Norte. O arco desintegrou-se em unidades de tijolo individuais o que indica que a argamassa de assentamento tinha fraca resistência. Os muros de tímpano não colapsaram apesar de terem sofrido grandes deformações, (J. Page, 1988).

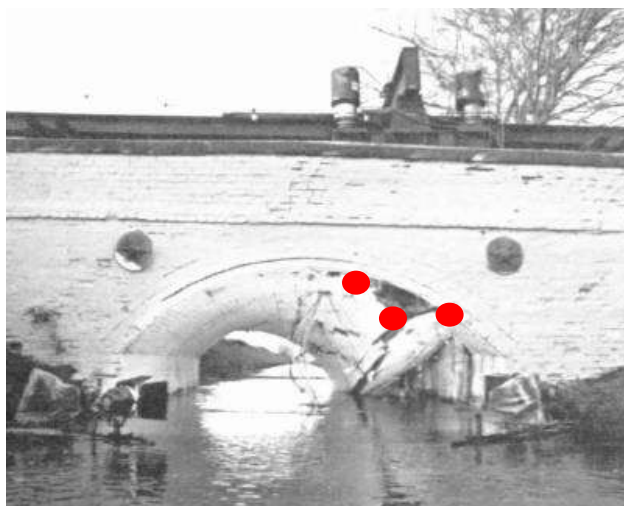


Figura 4.4 - Ponte de Torksey no momento do colapso (J. Page, 1988)

### 4.2.3. MULTI-ARCO

O mecanismo de colapso Multi-arco pode ocorrer em pontes de arcos múltiplos, em que a esbelteza do pilar intermédio permite a interação entre os arcos. Este modo de rotura está intrinsecamente ligado com a rigidez dos muros de tímpano que se localizam sobre os arcos e pilares. A zona do coroamento do arco, onde os muros de tímpano são mais baixos e conseqüentemente menos rígidos, é um local provável de formação rótulas plásticas. As deformações nos arcos induzem esforços no pilar esbelto que deforma como ilustrado na Figura 4.5. Os muros de tímpano na zona do pilar são mais altos e mais rígidos quando comparados com a zona do coroamento. Assim, graças à sua elevada rigidez, forma-se uma rótula no contato entre os arcos e o pilar. Devido à sua elevada rigidez, os muros de tímpano rodam acompanhando a deformação dos arcos.

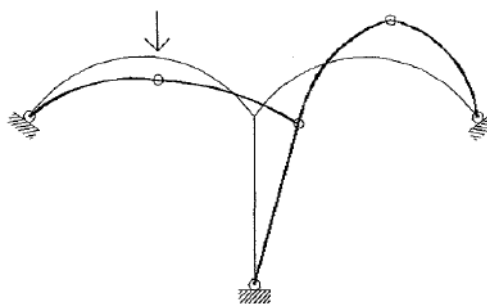


Figura 4.5 - Mecanismo Multi-arco (Álamo, 2001)

Foi realizada por (Melbourne, Gilbert, & Wagstaff, 1995) uma campanha de três ensaios experimentais em pontes multi-arco à escala real. A Figura 4.6 ilustra a ponte nº 1 dessa campanha no momento do colapso. É observável a formação de um mecanismo de colapso global multi-arco, onde os muros de tímpano rodam como corpos rígidos e rompem na zona do coroamento dos arcos, à medida que estes se deformam. Concluiu-se com este estudo que as cargas últimas de colapso para um mecanismo multi-arco são inferiores quando comparadas com uma ponte de um único vão.

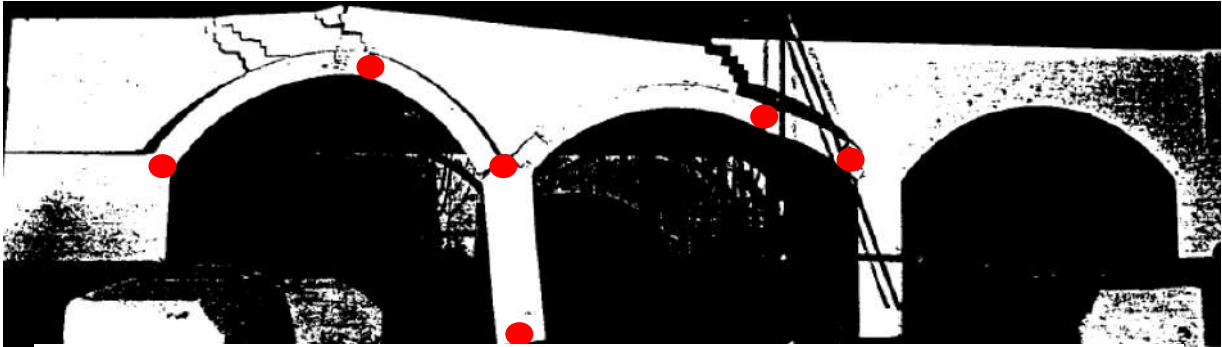


Figura 4.6 - Ponte nº 1 no momento do Colapso (Melbourne et al., 1995)

O esmagamento do arco pode ocorrer quando as tensões de compressão atingem valores muito elevados, conduzindo ao colapso de uma ou mais unidades de alvenaria. Este modo de rotura é característico de estruturas cujo arco é formado por aduelas pouco espessas, constituídas por materiais com baixa resistência à compressão, sujeitas a carregamentos pontuais de grande magnitude situados entre 1/3 de vão e meio vão. O comportamento e a resistência dos muros de tímpano e do enchimento são os fatores mais importantes na ocorrência de esmagamento. Quando os tímpanos são pouco rígidos, os arcos podem-se deformar e acomodar distribuições de tensões, evitando o esmagamento e formando mecanismos de rótulas semelhantes aos que foram observados anteriormente. Pelo contrário, quando os tímpanos e o enchimento impedem o arco de se deformar através do seu impulso passivo, o colapso dar-se-á pela rotura da alvenaria.

A ponte de Preston, referida em 4.2.1 ensaiada até à rotura por (J. Page, 1987), ilustrada na Figura 4.7 foi submetida a um carregamento pontual a 1/3 de vão. A estrutura era composta por um único arco elíptico construído com alvenaria de arenito e muros de tímpano em alvenaria de tijolo. A ponte colapsou devido ao esmagamento do arco na zona do carregamento. O facto de os muros de tímpano se desenvolverem bem acima do topo do arco (1,64 m) e do material do arco ser de baixa resistência contribuiu para o desenvolvimento do mecanismo de esmagamento.

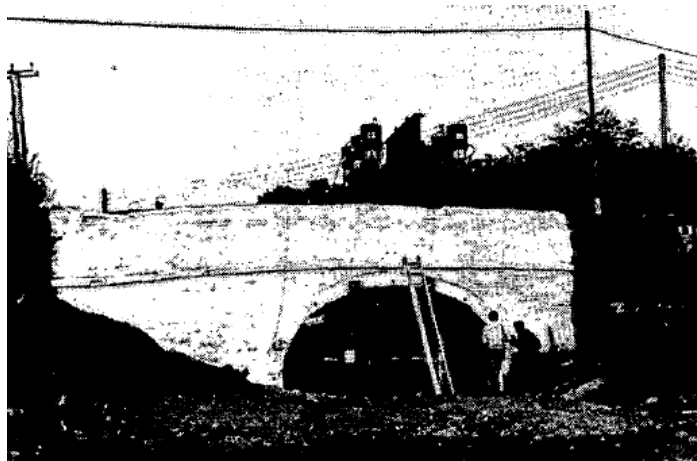


Figura 4.7 - Ponte de Preston

#### 4.2.5. ESCORREGAMENTO NAS ADUELAS DO ARCO

O escorregamento entre as aduelas, observável na Figura 4.8, ocorre devido à perda de aderência nas juntas. Esta anomalia é mais provável em arcos de juntas secas (sem argamassa de assentamento). A perda de aderência pode dar-se devido a ações que provoquem a descompressão do arco que conduzem a uma redução da resistência ao corte. (C. M. R. Costa, 2009)

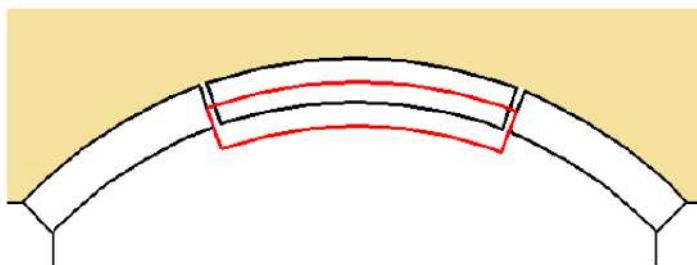


Figura 4.8 - Mecanismo de rotura por escorregamento das aduelas do arco (C. M. R. Costa, 2009)

#### 4.3. ROTURAS NA DIREÇÃO TRANSVERSAL

As roturas na direção transversal, dependem sobretudo do comportamento e da capacidade resistente dos muros de tímpano. Associado aos tímpanos, é também importante conhecer a relação entre estes e outros elementos estruturais como o arco e o enchimento. Existe também a possibilidade de ocorrer roturas por flexão ou punçoamento no arco, mais uma vez, a interação com os tímpanos é de grande relevância. A forma como estes elementos interagem traduz-se em mecanismos com características específicas que serão abordados durante este capítulo

Os seguintes mecanismos podem-se desenvolver associados a roturas na direção transversal:

- Inclinação do tímpano com rotação na base
- Flexão do tímpano
- Deslizamento do tímpano
- Separação do tímpano
- Flexão e punçoamento no arco

#### 4.3.1. MECANISMOS ASSOCIADOS AOS MUROS DE TÍMPANO

A Figura 4.9 apresenta quatro tipos de anomalias que podem ocorrer ao nível do mecanismo de carga transversal em pontes de arco de alvenaria de pedra. Nestes mecanismos, a interação estrutural entre os tímpanos e o arco é um dos fatores mais condicionantes.

Segundo (Álamo, 2001), a zona de união entre os tímpanos e o arco é um ponto fraco das pontes de alvenaria, devido à diferente rigidez de cada elemento estrutural. Verifica-se que para as cargas de serviço para as quais a ponte foi inicialmente projetada, os tímpanos conferem uma rigidez global à ponte. Porém, quando se alteram as condições de exploração da estrutura como por exemplo: alteração das vias de rodagem de modo a acomodar mais tráfego, aumento das cargas de serviço e da velocidade de passagem, não se pode contar com a ligação entre os tímpanos e o arco para conferir rigidez. Para casos de carregamento extremos, em que o esgotamento da capacidade resistente da estrutura é iminente, os tímpanos separam-se do arco e comportam-se como elementos independentes. Este fenómeno já foi demonstrado em 4.2.2, no ensaio da ponte de Torksey.

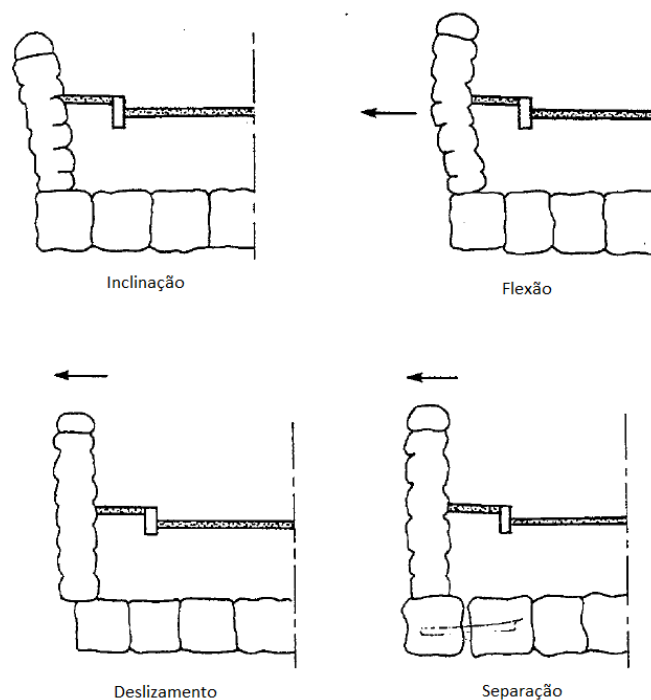


Figura 4.9 - Anomalias habituais dos muros de tímpano Adaptado de (Álamo, 2001)

Os casos mais comuns de observar são o deslizamento e a separação dos muros de tímpano do arco. Estas anomalias são provocadas devido aos impulsos gerados pelo enchimento e pelo tráfego, aumento de altura da camada de pavimento que se traduz também em maiores impulsos nos muros, presença de um nível freático elevado no enchimento que se traduz em pressão hidrostática e acresce o impulso nos tímpanos, e por fim, o aumento das sobrecargas. Em função das ações e das características dos tímpanos, enchimento e arco, bem como as suas ligações, podem-se desenvolver os mecanismos acima ilustrados.

A ponte de Shinafoot, ilustrada na Figura 4.10, fez parte do programa de ensaios de (J. Page, 1988). Primordialmente, antes de se iniciar o teste, verificou-se a existência de fendas longitudinais ou perimetrais no intradorso do arco, na junção com o muro de tímpano. Este. As fendas sugerem que o tímpano se deslocou segundo o mecanismo de separação da Figura 4.9.

Foi aplicada uma carga linear a  $\frac{1}{4}$  de vão até ao colapso da estrutura. O arco colapsou através de um mecanismo de quatro rótulas independente dos tímpanos. Momentos antes do colapso do arco, colapsaram as paredes de tímpano, evidenciando que o mecanismo de separação se desenvolveu até os muros de tímpano se desligarem por completo do arco.

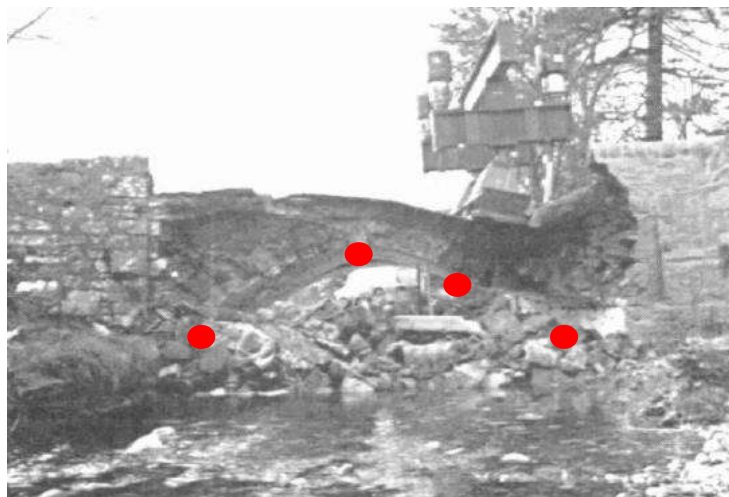


Figura 4.10 – Ponte de Shinafoot antes do colapso (J. Page, 1988)

#### 4.4. FLEXÃO E PUNÇOAMENTO NO ARCO

A interação estrutural entre o arco e os muros de tímpano faz com que o arco se comporte como uma laje na direção transversal. A elevada rigidez dos tímpanos, em comparação com o arco, faz com que estes se comportem como apoios simples nas extremidades do arco, impedindo movimentos verticais e permitindo movimentos horizontais e rotações. A componente do carregamento originado pelo peso próprio do enchimento e do pavimento e pelas sobrecargas, que chega diretamente ao arco, provoca flexão e corte no mesmo.

Sendo que a alvenaria não é indicada para resistir a este tipo de esforços, em função da magnitude, pode dar-se abertura de fendas no intradorso do arco, o destacamento entre os tímpanos e o enchimento e a degradação do arco. Com o aumento das anomalias anteriores, as cargas transmitidas ao arco são cada vez maiores e o efeito de flexão é mais prejudicial. Ao exceder a resistência à flexão, o arco colapsa devido ao acumular de deformações que resultam da abertura de fendas. O aumento do esforço de corte é também relevante, dado que pode causar destacamento de pedras e punçoamento quando se excede a resistência do arco. (C. M. R. Costa, 2009)



## 5. MÉTODOS DE ANÁLISE

### 5.1. INTRODUÇÃO

A análise de estruturas em arco sofreu grandes alterações ao longo do tempo devido à evolução do conhecimento científico. O dimensionamento de estruturas em arco de alvenaria começou por ser executado através de regras empíricas que se baseavam nas proporções geométricas dos elementos estruturais. As estruturas eram executadas através do método de tentativa e erro que validava critérios e relações geométricas entre arcos, vãos e pilares.

Com a formulação das leis da estática e da resistência de materiais, a forma de projetar alterou-se significativamente, passando a ter em conta os esforços instalados e a capacidade mecânica dos materiais acomodarem esses esforços sem alcançar a rotura. Foram também desenvolvidos métodos gráficos e surgiu a definição de linha de impulsos

Atualmente usa-se o método de análise limite, o método dos elementos finitos e o método dos elementos discretos para estudar o comportamento de pontes em arco de alvenaria. Ao longo deste capítulo serão abordados vários métodos de análise com relevância histórica que contribuíram para o conhecimento atual do comportamento estrutural dos arcos.

### 5.2. ANÁLISE GRÁFICA E ANALÍTICA

#### 5.2.1. REGRA DO TERÇO CENTRAL

A regra do terço central consiste num método de equilíbrio, que resulta da análise gráfica da tensão normal em cada aduela. Como será explicado ao longo desta subsecção, a regra do terço central é um método conservativo que garante o equilíbrio de um arco, recorrendo apenas a tensões de compressão. Para tal, à semelhança de outros métodos de cálculo, ignora por completo a baixa resistência à tração das aduelas.

Partindo da hipótese de Bernoulli (Gago, 2004), que relaciona a tensão normal com os esforços atuantes numa dada secção transversal de uma peça linear, é possível estabelecer o equilíbrio através da equação (5.1)

$$\sigma(x) = \frac{N}{A} + \frac{M}{I} \cdot x \quad (5.1)$$

Em que A e I designam a área e o momento de inércia da secção, respetivamente.

A Figura 5.1 representa graficamente a equação anterior que, em função do esforço normal  $N$  e do momento fletor  $M$ , traduz a tensão aplicada na secção. A resultante da distribuição de tensões pode ser exclusivamente de compressão, tração ou até mista, em função dos esforços. O facto de os arcos de alvenaria serem construídos com materiais compósitos com mau desempenho à tração, faz com que a existência deste tipo de tensões seja indesejável. Assim é relevante trabalhar a expressão anterior de modo a obter a relação entre esforço normal e momento fletor que faz com que a secção esteja inteiramente sujeita a tensões de compressão.

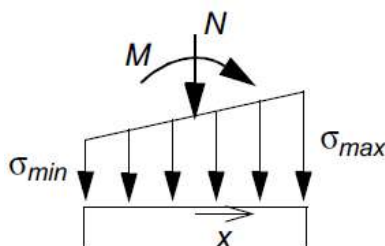


Figura 5.1 - Tensões normais e esforços atuantes na secção transversal de uma peça linear (Gago, 2004)

No caso de se tratar de uma superfície retangular com largura  $b$  e altura  $t$ , a expressão anterior escreve-se da seguinte forma:

$$\sigma(x) = \frac{N}{bt} + \frac{12M}{bt^3} \cdot x \quad (5.2)$$

Com a Figura 5.1 pode-se escrever a equação (5.3) que corresponde à tensão mínima de compressão na secção. Para tal substitui-se  $x$  por  $-\frac{1}{2}t$  na expressão (5.2).

$$\sigma_{min} = \frac{N}{bt} - \frac{6M}{bt^2} \quad (5.3)$$

Caso a tensão mínima seja de compressão, a restante secção transversal estará também sujeita a tensões de compressão. Sabendo que a excentricidade é dada pelo quociente entre o momento fletor  $M$  e o esforço normal  $N$  ( $e=M/N$ ), e considerando que a tensão mínima corresponde a zero num cenário limite, em que a secção continue sujeita a tensões de compressão, obtém-se a relação (5.4).

$$e \leq \frac{t}{6} \quad (5.4)$$

Pode-se concluir que para manter uma secção retangular sujeita inteiramente a esforços de compressão, é necessário que a resultante das tensões seja aplicada no terço central da mesma, como ilustra a Figura 5.2.

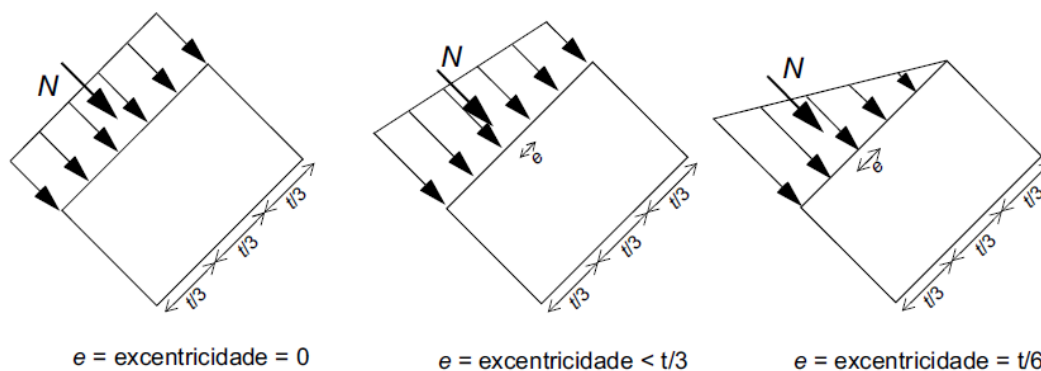


Figura 5.2 - Distribuição das tensões numa secção em função da posição da sua resultante (Gago, 2004)

Não obstante, deve-se também ter em conta que, a resistência à compressão é limitada pela tensão de cedência  $\sigma_c$  do material. Desta forma, a partir da equação (5.2) podem-se escrever as equações (5.5) e (5.6) que estabelecem os esforços máximos ( $N$  e  $M$ ) em função da tensão de cedência ( $\sigma_c$ ).

$$M_{max} = \frac{t}{6} (\sigma_c bt - N) \quad (5.5)$$

$$e_{max} = \frac{M}{N} = \frac{t}{6} \left( \frac{\sigma_c bt}{N} - 1 \right) \quad (5.6)$$

Ao aumentar a excentricidade da resultante para valores superiores a  $t/6$ , surgem esforços de tração que, provocam fendilhação na zona tracionada e conseqüentemente, aumentam a intensidade da tensão normal máxima de compressão. A Figura 5.3 é a continuação da figura anterior e ilustra as zonas comprimidas e as zonas fendilhadas na secção transversal, quando a excentricidade é superior a  $t/6$ .

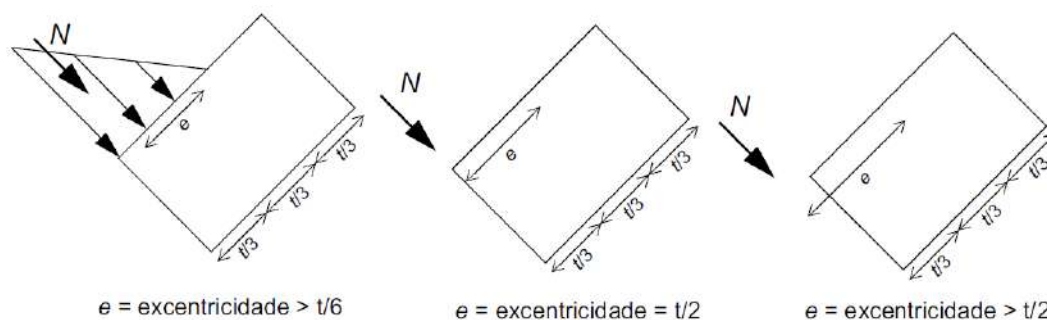


Figura 5.3 - Distribuição das tensões numa secção em função da posição da sua resultante (Gago, 2004)

De forma análoga, pode-se escrever as equações (5.7) e (5.8) que estabelecem os esforços máximos ( $N$  e  $M$ ) em função da tensão de cedência ( $\sigma_c$ ) para a secção fendilhada.

$$M_{max} = N \left( \frac{t}{2} - \frac{2N}{3\sigma_c b} \right) \quad (5.7)$$

$$e_{max} = \frac{t}{2} - \frac{2N}{3\sigma_c b} \quad (5.8)$$

Assim, pode-se concluir que uma estrutura arqueada estará em equilíbrio caso a linha de pressões resultante do carregamento se encontre no interior da sua espessura. De forma análoga, conclui-se que esta estrutura se encontra inteiramente comprimida, caso a linha de pressões esteja contida no na zona do núcleo central das aduelas (Gago, 2004).

Na primeira metade do século XX, a regra do terço central foi uma das metodologias de dimensionamento mais utilizadas devido ao seu carácter conservativo. Como foi demonstrado acima, uma estrutura em arco pode estar em equilíbrio sem que se encontre completamente comprimida, desde que a linha de pressões se mantenha dentro da secção das aduelas em todo o seu comprimento. Neste método a linha de pressões é encontrada unindo os centros de pressão de cada aduela do arco. O facto da regra do terço central ser conservativa em demasia levou Alfred Pippard, que será abordado em 5.2.3, a propor a regra da metade de central. Esta, sendo menos conservativa, admitia que ocorressem fissuras resultantes de trações até  $\frac{1}{4}$  da largura das aduelas dos arcos.

### 5.2.2. POLIGONO FUNICULAR

O polígono funicular é uma metodologia gráfica que, através do equilíbrio de forças atuantes e reações, permite calcular uma aproximação da linha de pressões em arcos para um dado carregamento. De acordo com (Gago, 2004), a técnica gráfica do polígono funicular considera o arco como um cabo invertido, onde se encontram suspensas cargas concentradas. A construção do polígono é realizada através do equilíbrio das forças atuantes como indicado na Figura 5.4.

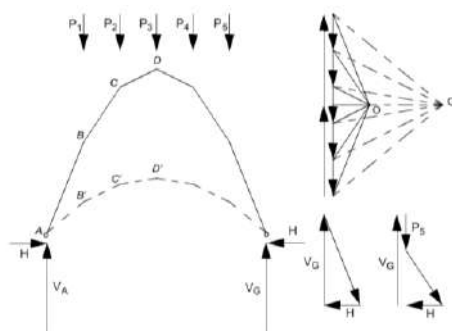


Figura 5.4 – Polígono Funicular (Gago, 2004)

Sendo o arco uma estrutura hiperestática de terceiro grau, não é possível descobrir o valor exato do impulso horizontal ( $H$ ) e do pólo ( $O$ ), o que impede a determinação do verdadeiro polígono funicular. Para se obter o verdadeiro polígono funicular, é necessário considerar a deformabilidade da estrutura, como usual no cálculo de estruturas hiperestáticas, (Gago, 2004). Tendo em conta que o método do polígono funicular surgiu no século XIX (Gerhardt, Kurrer, & Pichler, 2003), época em que se davam os primeiros passos no campo da estática gráfica e da resistência de materiais, não era possível determinar a verdadeira linha de pressões. Contudo, segundo (Gago, 2004), de acordo com a análise limite, basta encontrar uma linha de pressões em equilíbrio com o carregamento, que esteja contida na estrutura do arco, para que este se encontre em equilíbrio.

Admite-se então as duas configurações limite possíveis de ocorrer, que correspondem às situações de impulso horizontal mínimo e máximo representadas na Figura 5.5. As restantes linhas de pressão possíveis de ocorrer, mantendo a estrutura em equilíbrio inserem-se entre as duas situações limite. Nas configurações limite, a linha de pressões é tangente aos limites do arco em três pontos, o que o transforma numa estrutura isostática. É assim possível calcular o impulso horizontal mínimo e máximo que a estrutura pode mobilizar. No primeiro caso, admite-se que o impulso do arco provoca escorregamento na base e que os encontros se afastam ligeiramente. Tal deformação impede que se mobilizem impulsos superiores ao mínimo. No outro caso, admite-se que os encontros não sofrem deslocamentos, o que torna possível mobilizar o impulso máximo.

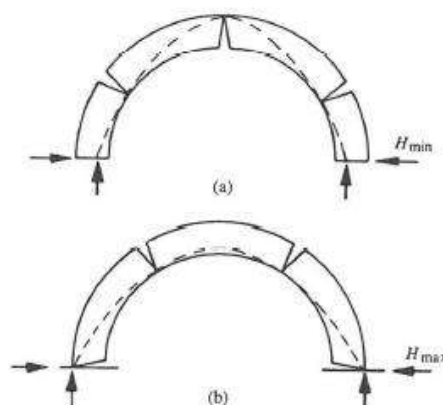


Figura 5.5 – Configuração das linhas de pressão. a) Impulso mínimo; b) Impulso máximo (Heyman, 1995)

Quanto mais vertical for a linha de pressões, na zona dos apoios (rins), menor será o impulso horizontal nos mesmos, o que favorece a estabilidade do arco. Conclui-se que o efeito do peso próprio do material de enchimento sobre o extradorso do arco aumenta a estabilidade, uma vez que, diminui o impulso horizontal e desloca a linha pressões para o interior da estrutura. A Figura 5.6, apresentada por (Gago, 2004), ilustra, do lado esquerdo, um arco circular submetido ao seu peso próprio. Neste exemplo a linha de pressões encontra-se em situação limite, ou seja, não é possível diminuir a espessura do arco sem que a linha saia para fora da espessura da estrutura, o que compromete a estabilidade. O lado direito da figura apresenta o mesmo arco, com a adição do peso

do enchimento. Verifica-se a migração da linha de pressões para o interior do arco, o que favorece a estabilidade.

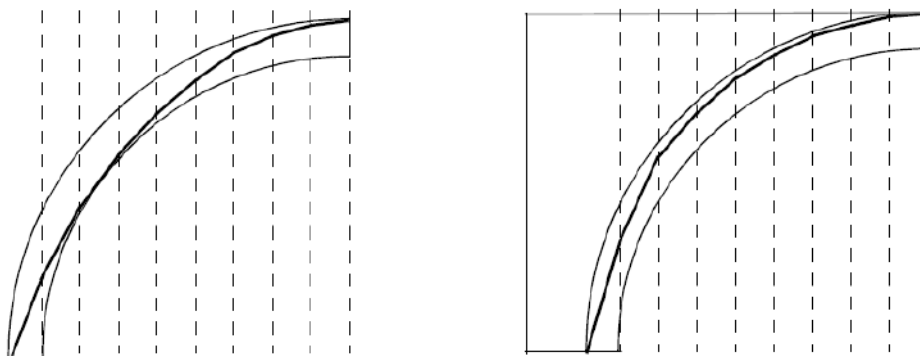


Figura 5.6 – Efeito favorável do enchimento na linha de pressões: Arco sujeito ao seu peso próprio (esquerda); Arco sujeito ao peso do enchimento e peso próprio (direita) (Gago, 2004)

(Gago, 2004) escreve uma nota quanto às conclusões possíveis de obter com este método. O autor refere que a ferramenta não serve para realizar estudos de estabilidade, pois não permite quantificar as margens de segurança quando se determina uma linha de pressões. Além disso, nos casos em que não se consegue achar uma linha de pressões, não quer dizer que esta não exista, mas sim que o projetista não a conseguiu definir com sucesso.

Na execução do estudo preliminar da Ponte de Vila Fria, (P. M. Q. M. da Costa, 2007), explicita como se deve proceder para calcular o polígono de forças e a respetiva linha de pressões segundo (Curtin, Shaw, Beck, & Bray, 1982). A Figura 5.7 ilustra o processo que será, em seguida descrito. Conhecendo o peso das aduelas e idealizando o arco como um mecanismo de três rótulas, é possível, por equilíbrio de momentos, calcular a força horizontal na aduela de fecho (H). Em seguida, pode-se iniciar o traçado do polígono de forças (lado direito da figura) desenhando uma linha horizontal (a), de grandeza igual a (H). Esta linha, designada por raio polar, une o pólo (o) à extremidade da força vertical correspondente ao peso da aduela de fecho ( $w_6$ ). Os restantes raios polares são traçados entre o pólo e a extremidade inicial dos vários pesos das aduelas. A construção da linha de pressões começa com a interseção entre (a) e ( $p_6$ ). Em seguida, partindo de ( $p_6$ ), intersesta-se (b) com ( $p_5$ ) e assim sucessivamente até se definir a linha de pressões composta pelos vários troços, representada no lado esquerdo.

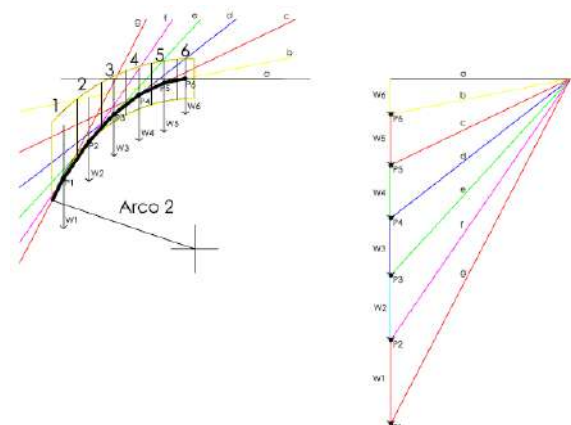


Figura 5.7 - Linha de pressões e polígono de forças

Após obter a linha de pressões, e partindo do centro do arco pode-se definir duas linhas semicirculares que se encontrem o mais próximas possível uma da outra, contendo a linha de pressões no seu interior.

### 5.2.3. MÉTODO ELÁSTICO DE PIPPARD

Foi referido em 5.2.2 que um arco é uma estrutura três vezes hiperestática. Alfred Pippard admitiu que, devido ao ajustamento da geometria do arco e de movimentos nos apoios, se formem articulações e fendas que tornam a estrutura estaticamente determinada, (Gago, 2004). Tendo isso em consideração, a dedução do método parte do princípio que o arco é uma estrutura continua bi-articulada nos apoios, e portanto, hiperestática de primeiro grau. A Figura 5.8 ilustra o esquema considerado por Pippard, a partir do qual se desenvolvem expressões que permitem calcular a carga admissível  $P$  e o impulso horizontal  $H$ .

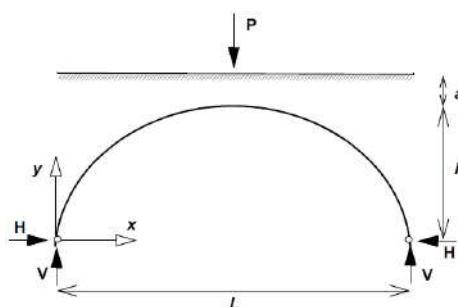


Figura 5.8 - Método elástico de Pippard (Gago, 2004)

O método elástico de Pippard assume que o arco tem um formato parabólico e está sujeito a uma carga concentrada  $P$  a meio vão. Está também sujeito ao peso específico do arco e do material de enchimento, que se consideram ambos iguais a  $\gamma$ . Considera-se que o enchimento atinge uma cota igual a  $a$  e a degradação da carga ocorre com um ângulo de  $45^\circ$ , o que faz com a largura de atuação de carga no arco seja igual a  $2a$ . A espessura do arco na secção de fecho é dada por  $t$ . De acordo com (Gago, 2004), Alfred Pippard tinha conhecimento que a posição de carga mais desfavorável num arco se encontrava entre um terço e um quarto de vão. Porém, na dedução do método elástico, considerou a posição da carga a meio vão e ignorou os efeitos positivos do enchimento, por existir menor dispersão de carga. Como foi visto em 3.2.5, quanto menor for a profundidade do enchimento, menor será a degradação de cargas e conseqüentemente maiores serão as tensões atuantes no arco. Através das considerações anteriores, pode-se assumir que a posição de carga mais gravosa é a meio vão. Partindo da equação (5.9) que corresponde à energia de deformação do arco, é possível deduzir a carga máxima admissível que pode atuar no arco.

(Gago, 2004) explicita a dedução do método elástico de Alfred Pippard através das seguintes equações:

$$U = 2 \int_{(x=0)}^{(x=\frac{L}{2})} \left( \frac{M(x)^2}{2EI} \right) ds \quad (5.9)$$

Onde  $ds$  é o elemento de comprimento do arco,  $x$  a distância ao apoio e  $M(x)$  o momento fletor.

Minimizando a expressão anterior, obtém-se (5.10)

$$\frac{\delta U}{\delta H} = 2 \int_{(x=0)}^{(x=\frac{L}{2})} \left( \frac{M(x)}{EI} \cdot \frac{d}{dH} M(x) \right) ds = 0 \quad (5.10)$$

De modo a simplificar a expressão anterior, Pippard admite que a inércia da secção do arco diminui entre a base e o fecho do arco através da (5.11).

$$I = I_0 \cdot \frac{ds}{dx} \quad (5.11)$$

Substituindo a expressão da variação de inércia em (5.10), obtém-se a equação (5.12) que expressa a mínima energia de deformação.

$$\int_{(x=0)}^{(x=\frac{L}{2})} \left( M(x) \cdot \frac{d}{dH} M(x) \right) dx = 0 \quad (5.12)$$

Através das características geométricas do arco e do enchimento obtém-se o momento fletor  $M$  e o impulso horizontal  $H$  a meio vão pelas equações (5.13) e (5.14).

$$H = \frac{1}{h} \cdot \left( \gamma La \cdot \left( \frac{h}{21} + \frac{a+t}{4} \right) + \frac{25}{128} \cdot P \right) \quad (5.13)$$

$$M = \frac{L}{4} \cdot \left( \frac{\gamma La}{42} - \frac{7}{32} P \right) \quad (5.14)$$

Ao considerar a regra da metade central, abordada no fim subcapítulo 5.2.1, como critério de dimensionamento, resulta a equação (5.15) e através de (5.13) e (5.14) obtém-se (5.16).

$$\frac{M}{H} = -\frac{1}{4} t \quad (5.15)$$

$$P_1 = \frac{32\gamma La(2h^2 + 4ht + 21t(a + t))}{21(28h - 25t)} \quad (5.16)$$

Sendo a tensão máxima admissível dada pela equação (5.17), o limite máximo para a carga  $P$  corresponde a (5.18).

$$\sigma_c^{max} = \frac{H}{2ta} - \frac{3M}{at^2} \quad (5.15)$$

$$P_2 = \frac{\frac{256\sigma_c^{max}at}{L} + 128\gamma La\left(\frac{h}{28t} - \frac{1}{21} - \frac{a+t}{4h}\right)}{\left(\frac{25}{h} + \frac{42}{t}\right)} \quad (5.16)$$

De acordo com (Gago, 2004) e (Guimarães Atalaia Canhão, 2010), Alfred Pippard comparou os resultados experimentais com a previsão da carga de colapso dada pela expressão (5.16). Conclui que limitando a tensão de compressão máxima  $\sigma_c^{max}$  a um limite de 1,39 MPa, se obtém uma margem de segurança 3 a 4 vezes superior em relação aos resultados experimentais. O autor considerou que ser necessário trabalhar com uma margem de segurança elevada devido à complexidade das pontes em arco de alvenaria. Para o limite imposto de 1,39 MPa resultam tensões de tração inferiores a 0,68 MPa, que segundo o autor, não provoca fendilhação significativa na estrutura.

O método apresentado em 1936, (Pippard, 1936), pretendia dar ao engenheiro a capacidade de aferir a capacidade resistente de uma ponte em arco de alvenaria de forma rápida e expedita. O autor elaborou um conjunto de tabelas em que, através da relação entre o vão e a profundidade do enchimento no coroamento conduziam à carga admissível.

#### 5.2.4. MÉTODO MEXE

O método MEXE, desenvolvido no Reino Unido na década de sessenta do século XX, foi criado pela instituição *Military Engineering Experimental Establishment*, com o propósito de estimar, de forma rápida e expedita, a capacidade resistente de pontes em arco de alvenaria, (Gago, 2004). Este método empírico, criado em contexto militar, tem por base o método elástico de Alfred Pippard e conta com um conjunto de características que afetam a capacidade resistente. A Tabela 5.1 enuncia detalhadamente os fatores que influenciam a carga admissível corrigida, bem como os valores que estes podem tomar. A capacidade resistente depende do fator flecha-vão; perfil do arco; material; junta e estado de conservação.

(Gago, 2004) refere que o método MEXE, por ter como base uma metodologia elástica, e de aplicação duvidosa em estruturas de alvenaria. No entanto, este método foi largamente utilizado pela fácil aplicação, e por conduzir a resultados bastante conservativos. Quando aplicado a pequenos vãos até 7 metros, fornece estimativas de carga 3 a 4 vezes superior à carga de colapso. Para vãos grandes, entre os 10 e os 18,30 metros, as estimativas de carga podem ser 4,4 a 8,5 vezes superiores.

Tabela 5.1 - Método MEXE (Extraído de Gago, 2004)

<b>Carga admissível - <math>P = 740 \cdot (t + a)^2 / L^{1.3}</math> (em toneladas)</b>
<i>t</i> = espessura do arco no fecho; <i>L</i> = vão do arco; <i>a</i> = altura do enchimento sobre o fecho do arco
<b>Carga admissível corrigida - <math>Prd = P \cdot Fsr \cdot Fp \cdot Fm \cdot Fj \cdot Fc</math></b>
<b><i>Fsr</i> = factor flecha-vão</b>
Factor que tem em conta o desvio da geometria do arco relativamente ao perfil parabólico inicialmente assumido. Tendo em conta que os arcos abatidos são menos resistentes que os outros arcos de perfil mais aguçado, este factor toma o valor 1 para relações vão-flecha inferiores ou iguais a 4 e valores menores que 1 para relações superiores.
<b><i>Fp</i> = factor perfil do arco</b>
Factor que tem em conta o desvio do perfil do arco relativamente ao perfil parabólico inicialmente assumido. É definido pela expressão:
$Fp = 2.3 \cdot ((r_c - r_q) / r_c)^{0.6}$
em que, <i>r<sub>q</sub></i> é a altura do intradorso do arco a 1/4 de vão e <i>r<sub>c</sub></i> a correspondente altura no fecho, e toma o valor 1 para relações <i>r<sub>q</sub>/r<sub>c</sub></i> e inferiores ou iguais a 0.75 e valores menores que 1 para relações superiores.
<b><i>Fm</i> = factor material</b>
Pretende ter em conta com as características mecânicas dos materiais que constituem o arco e o seu enchimento no extradorso e é definido pela expressão:
$Fm = ((\text{factor arco} \cdot \text{espessura do arco}) + (\text{factor enchimento} \cdot \text{espessura enchimento})) / (\text{espessura total do arco e enchimento no fecho})$
em que, o "factor arco" toma os valores 1.5, 1.2, 1.0 e 0.7 para aduelas, respectivamente, em granito, betão, calcário e alvenaria pobre e o "factor enchimento" os valores 1.0, 0.9, 0.7 e 0.5 quando o enchimento é constituído por, respectivamente, betão, materiais com coesão (argilas), materiais soltos bem compactados e materiais fracos.
<b><i>Fj</i> = factor junta</b>
Pretende ter em conta com as características resistentes das juntas entre as aduelas do arco e é definido pela expressão:
$Fj = F_w \cdot F_d \cdot F_{mo}$
em que, <i>F<sub>w</sub></i> tem em conta com a espessura das juntas (toma os valores 1.0, 0.9 e 0.8 para juntas de, respectivamente, 6mm, 6 a 12.5 mm e mais de 12.5 mm de espessura), <i>F<sub>d</sub></i> com aprofundidade das juntas e com a qualidade do seu preenchimento com argamassa (toma valores entre 0.9 e 0.8, à consideração do projectista) e <i>F<sub>mo</sub></i> com a qualidade da argamassa de preenchimento das juntas (toma valores entre 0.9 e 1.0 consoante se trate de uma argamassa fraca ou em boas condições, respectivamente).
<b><i>Fc</i> = factor estado de conservação da ponte</b>
É um factor qualitativo, variável entre 0 e 1.0, que pretende considerar o estado de conservação da ponte. O valor 1.0 deverá ser considerado para pontes em boas condições, sem patologias, e o valor 0 para pontes em estado de ruína.

### 5.2.5. ANÁLISE LIMITE

(Heyman, 1966) enuncia os princípios mecânicos de dimensionamento pressupostos pela análise limite.

1. A resistência à tração da pedra é nula
2. A resistência à compressão da pedra é infinita
3. O deslizamento entre pedras não pode ocorrer

A primeira hipótese tem um ligeiro carácter conservativo, uma vez que as unidades de pedra possuem alguma resistência à tração. Porém, ao analisar uma estrutura em arco de alvenaria de pedra, as zonas das juntas, quer sejam argamassadas ou secas, não permitem a transmissão de esforços de tração.

A segunda hipótese aparenta ser não conservativa, na medida em que as unidades de alvenaria de pedra possuem uma resistência limitada à compressão, à semelhança de outros materiais. No entanto, o nível de tensões instaladas nas estruturas é tão baixo que, por simplificação, pode-se assumir uma resistência de compressão ilimitada.

A terceira hipótese assume que, as tensões de compressão instaladas na estrutura são suficientes para impedir o deslizamento relativo de unidades de alvenaria de pedra.

Tendo em conta as hipóteses anteriormente enunciadas, Coulomb propôs que a formação de rótulas em faces livres seria o único mecanismo possível de se desenvolver (Heyman, 1966). A representação deste é ilustrada no lado esquerdo da Figura 5.9, onde se observam duas aduelas de espessura  $2h$  sujeitas a uma tensão de compressão  $N$ . Tendo como referência o centro das aduelas, a rótula forma-se para um momento fletor efetivo de  $M = hN$ . No lado direito da mesma figura, encontra-se representada um gráfico em que as retas OA e OB representam respetivamente  $hN$  e  $-hN$ . Todos os pontos dentro do triângulo AOB correspondem a um estado de tensão que não provoca o colapso. Pelo contrário, todos os pontos fora do triângulo correspondem a estados de impossível equilíbrio, onde a linha de pressões sai das aduelas. Os pontos que se encontram sobre as retas OA e OB correspondem a uma combinação de esforços que forma uma rótula plástica. Caso se considere a resistência à compressão da alvenaria, a superfície AOB seria substituída por dois arcos parabólicos OCDEO, (Heyman, 1966). No entanto, segundo o autor, caso os esforços na estrutura sejam cerca de um décimo da sua capacidade resistente, os arcos parabólicos aproximam-se do triângulo, conduzindo a um erro muito baixo.

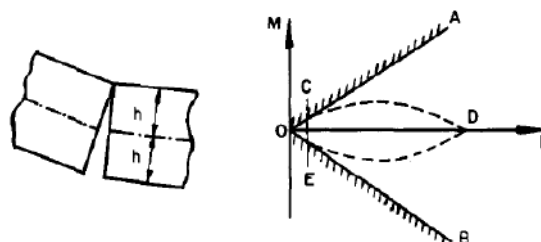


Figura 5.9 - Condição limite para aduelas de pedra (Heyman, 1966)

A análise limite tem como base o Teorema estático e o Teorema cinemático da análise plástica.

Segundo (Heyman, 1966), o Teorema estático ou “seguro” enuncia que se for possível encontrar uma linha de pressão em equilíbrio com o carregamento exterior em que a linha esteja totalmente contida dentro do arco de alvenaria, então a estrutura é segura. Esta afirmação é válida para qualquer linha de pressões em equilíbrio com um dado carregamento. O Teorema cinemático, por outro lado, parte de uma posição de equilíbrio estático entre a linha neutra e o carregamento. Ao aumentar gradualmente a intensidade da carga forma-se um número suficiente de rótulas para que se dê o colapso da estrutura. Desta forma, para um determinado carregamento, conhece-se o fator de carga que provoca o colapso da estrutura.

De acordo com (Gago, 2004), a análise limite permite determinar a mínima espessura admissível de um arco sob carregamento. O autor, partindo da Figura 5.10 demonstra como deduzir a equação 5.17 que permite o dimensionamento da espessura do arco. Para tal considerou um arco parabólico sujeito a um carregamento uniforme e uma carga concentrada de reduzida intensidade, onde se despreza o peso próprio do arco.

$$esp_{min} = 2 \cdot \frac{0,902 Pl}{\frac{ql}{4h}} \quad (5.17)$$

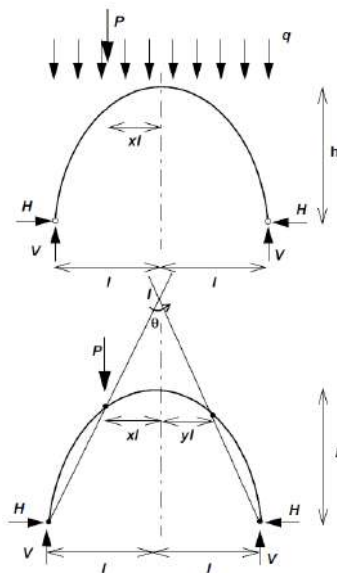


Figura 5.10 – Análise limite de um arco com perfil parabólico (Gago, 2004)

Existe um software comercial designado por *LimitState RING* (LimitState Ltd, 2016), cuja estratégia de cálculo tem como base os princípios da análise limite. Segundo o fabricante do software, as principais valências residem na versatilidade, facilidade e rapidez. Permite modelar estruturas de alvenaria com diversas geometrias, que podem ser compostas por diversos tipos de arco e sujeitas a inúmeros cenários de carga. O *LimitState RING* é único software comercial que aplica a análise limite com a implementação de blocos rígidos e utiliza técnicas de otimização matemática que permite

identificar vários modos de rotura como: formação de rótulas; colapso de unidades de alvenaria; escorregamento radial entre aduelas; escorregamento entre arcos ou movimentos nos apoios. Permite ainda editar blocos e zonas de contato de modo a modelar zonas de fraqueza identificadas na estrutura real.

Além disto, o *LimitState RING* apresenta relatórios expeditos e outputs gráficos onde se apresenta a linha de pressões em função da carga e os pontos onde se formam rótulas plásticas. Esta ferramenta é particularmente relevante para uma avaliação inicial da estrutura em estudo.

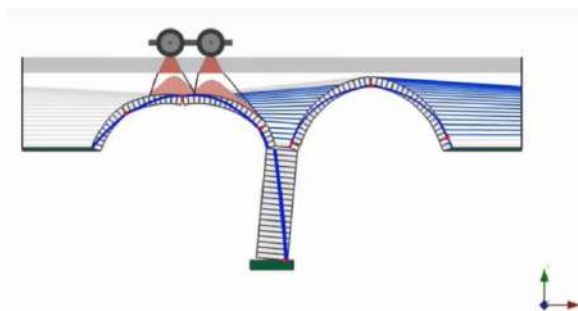


Figura 5.11 - LimitState RING software (LSWEB13-2 | Introduction to LimitState:RING [HD])

### 5.3. TÉCNICAS DE ANÁLISE NUMÉRICA

A alvenaria, independentemente dos seus constituintes, é um material difícil de modelar devido à sua heterogeneidade, anisotropia e diferença de resistência mecânica em função de uma solicitação de tração ou compressão. É um material que se revela mais eficiente à compressão do que à tração, conseguindo acomodar sensivelmente dez vezes mais tensão quando comprimido. Além da alvenaria, o material de enchimento também apresenta dificuldades de modelação devido à heterogeneidade que pode alterar os seus parâmetros mecânicos ao longo da estrutura. Além disto, ambos os materiais apresentam um comportamento plástico complexo e ainda parâmetros mecânicos que caracterizam a sua interação na estrutura. Todos estes fatores dificultam a tarefa de traduzir o problema real numa simulação numérica de forma fidedigna.

(Sarhosis, De Santis, & de Felice, 2016) apresentam uma análise crítica sobre a investigação experimental e os métodos de análise utilizados nos últimos trinta anos de investigação. Além de abordarem ensaios cujo propósito é aferir o contributo de resistência conferida pelo enchimento e pelos muros de tímpano, procuraram também esclarecer o leitor acerca das técnicas de análise disponíveis atualmente, explicitando as suas principais características. Além dos métodos semi-empíricos, como o método MEXE, e da análise limite que tem especial utilidade numa fase inicial, estão atualmente disponíveis modelos de abordagem computacional contínua e descontínua. Estes modelos podem alcançar um grau de complexidade elevada através de modelos não lineares que permitem compreender a resposta da estrutura bem como quantificar tensões e deslocamentos para qualquer situação de carga ou estados limite. O método dos elementos finitos é atualmente o

procedimento numérico mais popular para modelação e pode ser usado para representações estruturais em 1D, 2D ou 3D.

Segundo (Gago, 2004) a escolha da técnica de análise numérica a adotar deve ter em conta as seguintes características: tipo de estrutura em análise, nível de precisão desejado, conhecimento das propriedades dos materiais e dados experimentais disponíveis, recursos financeiros disponíveis, tempo disponível e a experiência do modelador. O autor refere que existem situações em que uma análise menos sofisticada pode ser o método de análise mais adequado e situações em que o uso de modelações distintas pode ser mais vantajoso.

Em seguida são enumeradas as metodologias numéricas utilizadas na simulação de estruturas de alvenaria, apresentando as suas características, vantagens e desvantagens.

### **5.3.1. MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**

O método dos elementos finitos possibilita o cálculo preciso da solução de problemas complexos de engenharia. A popularidade deste método advém da sua versatilidade e da possibilidade de utilizar uma base comum em diferentes problemas, apenas com alteração das condições iniciais. Atualmente, este método é considerado um dos melhores, entre os disponíveis, para resolver uma grande variedade de problemas práticos. (Rao, 2004)

(Gago, 2004) descreve as várias metodologias numéricas associadas ao cálculo de estruturas de alvenaria através do método dos elementos finitos.

- Elementos Estruturais e Macro Elementos
- Modelos Contínuos de Elementos Finitos
- Modelos Descontínuos de Elementos Finitos
  - Micro Modelação Detalhada
  - Micro Modelação Simplificada

### **ELEMENTOS ESTRUTURAIS E MACRO ELEMENTOS**

Esta metodologia é mais simples de implementar e consiste em modelar os elementos estruturais existentes, como paredes, arcos, ou colunas, através de elementos finitos de laje, casca ou viga com comportamento elástico linear. Por forma a simular efeitos não lineares, reduzem-se os módulos de elasticidade dos materiais e introduzem-se rótulas artificiais.

Os macro elementos são utilizados como simplificação de elementos estruturais como paredes de grandes dimensões que funcionam como elementos rígidos e que distribuição de tensões é considerada uniforme.

Estes modelos revelam-se particularmente úteis no estudo preliminar de uma estrutura, especialmente quando esta é de baixa complexidade. Simplificam a estrutura em estudo através de um reduzido número de graus de liberdade, que aligeiram a complexidade do modelo e consequentemente o esforço computacional necessário, o que se revela útil para a realização de análises dinâmicas.

### MODELOS CONTÍNUOS DE ELEMENTOS FÍNITOS

Os modelos contínuos traduzem materiais compósitos complexos, como é o caso da alvenaria, através de um meio homogêneo que não apresenta distinções entre os constituintes do material. O comportamento da alvenaria não permite que esta seja simulada através de modelos contínuos com comportamento elástico linear de forma correta. No entanto, a modelação permite compreender o comportamento da estrutura de forma qualitativa onde se observam: zonas de fendilhação, zonas de deformação permanente e avaliação de tensões instaladas. Em estruturas maioritariamente solicitadas por esforços de compressão e tensões de tração de pequena expressão, a análise elástica linear pode fornecer bons resultados.

Estes modelos conduzem a simulações com um grande número de graus de liberdade que aumentam o esforço computacional, bem como o tempo necessário para o cálculo da simulação. Assim, pode ser vantajoso usar esta metodologia para representações parciais da estrutura em estudo.

A transformação de materiais compósitos em materiais contínuos pressupõe a realização de um processo de homogeneização. Este processo consiste na adaptação das propriedades mecânicas de um material compósito de modo a obter um novo material que seja representativo do primeiro. A Figura 5.12 ilustra a teoria do processo de homogeneização de forma gráfica de uma parede de alvenaria. A homogeneização pode executada com diferentes processos que não serão abordados na presente dissertação e pode ser utilizada em estruturas com regularidade geométrica, como as pontes de alvenaria por exemplo.

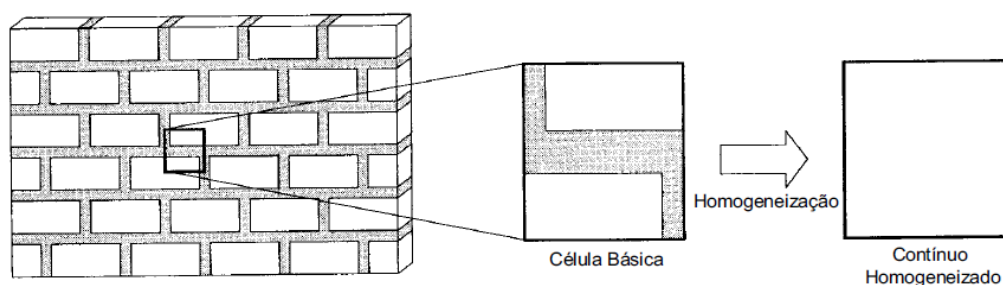


Figura 5.12 – Esquema de homogeneização de painéis de alvenaria regular (Gago, 2004)

Os modelos elásticos lineares podem ser melhorados através de incorporação de zonas de fendilhação e juntas de maior ou menor dimensão para simular descontinuidades. A investigação da análise não linear do betão desenvolveu modelos contínuos de elastoplasticidade, de fenda distribuída e de dano que podem ser utilizados na modelação não linear da alvenaria.

Os modelos de fenda dividem-se em modelos de fenda discreta e modelos de fenda distribuída. O primeiro simula a fenda através da separação dos nós pertencentes a elementos adjacentes o que introduz uma descontinuidade na malha. O segundo modelo define uma superfície contínua que modela a fendilhação através da alteração das propriedades mecânicas do material.

Os modelos de dano tratam de forma unificada o comportamento à tração e à compressão, com o objetivo de evitar a utilização de equações constitutivas distintas que afetam a convergência do modelo.

(Milani & Lourenço, 2012) simularam uma ponte ferroviária de alvenaria através de vários modelos: análise limite em 2D e 3D, modelo elasto-plástico através de um software comercial de elementos finitos, RING 1.5 e através de um modelo estático não linear de elementos finitos programado a partir de código não comercial. A ponte possui cinco arcos de volta perfeita e é carregada de forma excêntrica. A técnica de abordagem numérica desenvolvida pelos autores consiste em representar os elementos estruturais, exceto o enchimento, através de materiais homogeneizados com propriedades ortotrópicas. O enchimento é simulado através de elementos isotrópicos sujeitos ao critério de rotura de Mohr-Coulomb com limite de tensão e amolecimento do material. As interfaces entre arcos, enchimento, muros de tímpano e encontros são modeladas de forma não linear e com diferentes propriedades mecânicas. A carga é aplicada através de duas locomotivas elétricas posicionadas no segundo e quarto arco de acordo com a norma italiana. A deformação obtida encontra-se representada na Figura 5.13.

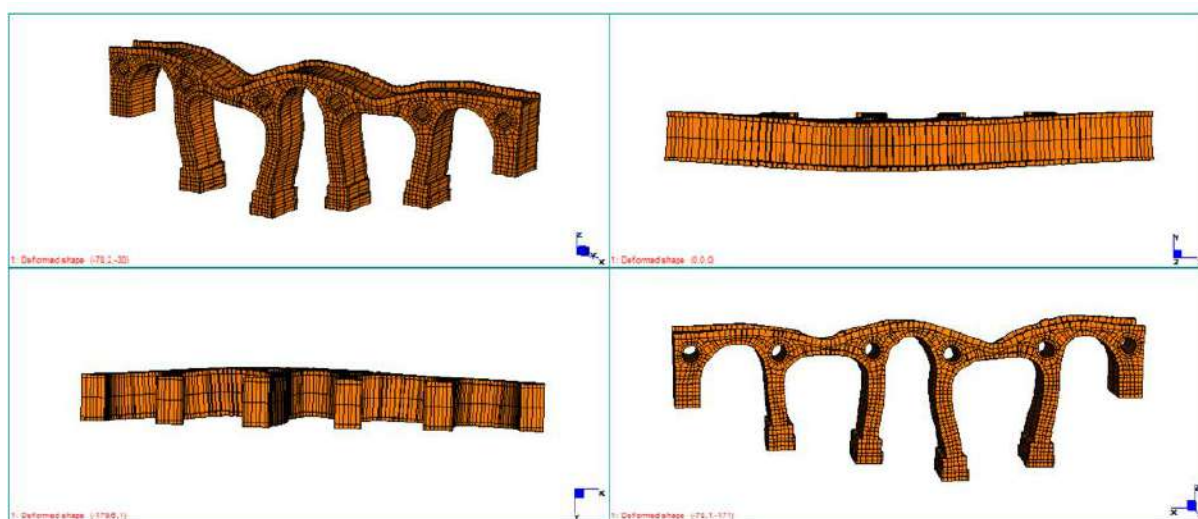


Figura 5.13 - Deformada obtida através do modelo numérico dos autores (Milani & Lourenço, 2012)

Os resultados obtidos pelos autores são apresentados na Figura 5.14 onde se destaca o fato de uma análise 3D fornecer melhores resultados que uma análise 2D por incorporar os efeitos transversais provenientes da geometria e do carregamento excêntrico.

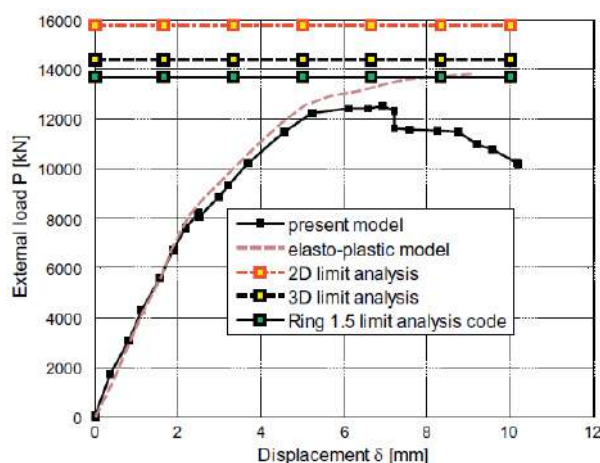


Figura 5.14 – Gráfico de carga vertical máxima em função do deslocamento vertical. Comparação entre os vários métodos usados (Milani & Lourenço, 2012)

## MODELOS DESCONTINUOS DE ELEMENTOS FINITOS

A alvenaria é um meio heterogêneo composto por blocos acoplados com ou sem argamassa, separados por juntas. As juntas provocam um comportamento não linear por se tratar de elementos de baixa resistência à tração proporcionando condições para a ocorrência de planos de rotura. Na tentativa de simular o comportamento da alvenaria, o mais fiel possível com a realidade, surgiram modelos em que a representação das juntas é feita de forma explícita.

(Gago, 2004) explicita a existência de duas metodologias distintas para modelar as juntas da alvenaria. A primeira técnica, mais refinada, simula a argamassa com recurso a elementos de interface de espessura nula onde a rotura pode ocorrer tanto na parte superior como na parte inferior da argamassa. A argamassa das juntas é modelada com as suas propriedades mecânicas e leis constitutivas o que permite simular a deformação lateral das juntas e a rotura das mesmas por compressão. Esta técnica traduz-se num grande esforço computacional devido ao nível de detalhe, o que a torna de difícil aplicação em modelos de grande dimensão. Assim, quando se pretende criar um modelo de grande dimensão, as juntas são modeladas através de um único elemento de interface de espessura nula. É desta forma possível construir um modelo menos pesado cuja velocidade de cálculo é substancialmente mais elevada. A Figura 5.15 ilustra as duas técnicas de modelação descritas acima.

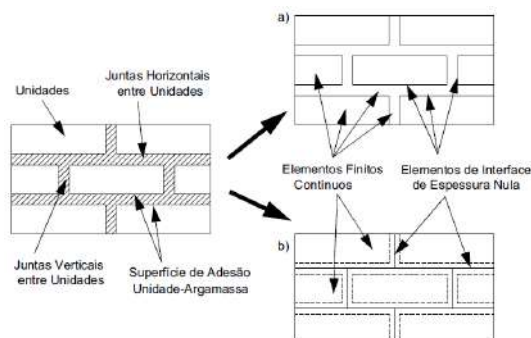


Figura 5.15 – Modelo descontinuo de paredes de alvenaria com elementos finitos – Modelação detalhada a) e simplificada b) (Gago, 2004)

Apesar do modelo simplificado ser mais adequado para simulações maiores, este continua a ser uma forma complexa de simulação com bastantes limitações. Assim pode-se optar pela utilização de modelos contínuos ou pela modelação de um número de juntas inferior ao real, transformando assim o modelo em macro elementos contínuos ligados por elementos de interface.

No caso de se tratar de uma estrutura de alvenaria de juntas secas, o autor considera que a melhor estratégia a utilizar é a técnica simplificada em que as juntas são modeladas com um único elemento de interface. De forma resumida, apresenta-se o seguinte quadro elaborado por (Sarhosis et al., 2016) onde são explicadas as principais diferenças entra a modelação continua e a modelação discreta. (Sarhosis et al., 2016)

Tabela 5.2 – Comparação entre a modelação contínua e discreta para pontes de alvenaria de pedra (Sarhosis et al., 2016)

	Continuous modelling	Discrete modelling
Basic assumptions	<ul style="list-style-type: none"> <li>Masonry assumed as a homogenous isotropic or anisotropic material</li> <li>Unit, mortar and unit-mortar interface are smeared out in the continuum over the entire masonry structure</li> <li>User friendly mesh generation (depending of the specific software used)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Masonry assumed as a composite of its individual components, i.e. brick and mortar</li> <li>Units and mortar in the joints are represented by continuum elements whereas the unit mortar interface is represented by discontinuous elements</li> <li>Approach suits for small size models. Because of the complexity of modelling the current computers cannot perform the analysis within economical times</li> </ul>
Input parameters and requirements	<ul style="list-style-type: none"> <li>A relationship between average masonry strains and average masonry stresses is required</li> <li>Reduced time and memory requirements. Used when compromise between accuracy and efficiency is needed</li> <li>Number of needed parameters to characterise masonry is high. It needs comprehensive testing results of large masonry part which contains adequate unit and mortar combinations to determine the assembling property of masonry units and mortars under different loading conditions (i.e. compression/compression and bending/shear, monotonic/cyclic)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>The geometry of the model needs to be represented in detail (i.e. brick by brick)</li> <li>A large number of parameters is required in order to characterise the materials. Individual properties of the brick, mortar and brick-mortar interface are required</li> <li>Large computational effort required</li> </ul>
Field of application and limits	<ul style="list-style-type: none"> <li>Can be applied for the large scale models so that the stresses across or along a macro-length will be essentially uniform</li> <li>Provide an understanding about the global behaviour of the structure</li> <li>Useful for large multi-span bridges and viaducts for a preliminary assessment of the load-carrying capacity, the detection of multi-span failure modes (i.e. configurations at collapse that involve more than one span due to the interaction between adjacent spans), the assessment of the structural response to earthquakes and the estimate of the seismic capacity</li> <li>Localised conditions such as cracks along the interface cannot be represented sufficiently nor realistically enough through a homogenisation of entire structure</li> <li>Some failure modes (such as de-bonding of bricks, shear sliding, ring separation) cannot be captured, due to simplicity of the modelling</li> <li>Used for both research and design practice purposes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Used when there is need to localise the initiation of cracks and investigate crack propagation up to failure</li> <li>Provides a deep understanding about the local behaviour of masonry structures</li> <li>Used for exact localisation of maximum tension zones in the materials, cracks along the joints or through the cross section of the units</li> <li>At present, mainly used for research work on masonry structures</li> </ul>

### **5.3.2. MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS**

O método dos elementos discretos é uma estratégia numérica que permite traduzir o comportamento mecânico de sistemas compostos por várias partículas, corpos ou blocos. O método é particularmente útil na modelação de materiais geológicos como: rochas e solo, mas também do betão ou alvenaria, (Lemos, 2007). Esta abordagem é adequada para problemas de génese não linear, uma vez que permite o escorregamento entre juntas, até que se dê a separação total de elementos através de grandes movimentos relativos entre blocos. Desta forma, o método dos elementos discretos é muito utilizado na modelação de estruturas em que se pretende estimar a carga de colapso.

Este método de cálculo é bastante relevante na investigação da interação entre o material de enchimento e os arcos, por exemplo, e em problemas relacionados com solos. Por não ser o método utilizado na realização deste trabalho, o mesmo não será explanado com o mesmo detalhe do método dos elementos finitos.



## 6. CASO DE ESTUDO - PONTE DA PEDRA SOBRE O RIO TUELA

### 6.1. INTRODUÇÃO

Antes de iniciar o estudo da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela, pretende-se exprimir a longevidade, a firmeza e o vigor característico das estruturas de alvenaria de pedra. (Heyman, 1995) refere que as estruturas de alvenaria são dotadas de uma extraordinária estabilidade estrutural e justifica essa afirmação com dois exemplos históricos. No primeiro refere que o templo de Hagia Sofia, em Istambul, sofreu ao longo do tempo, dois terremotos de grande magnitude que não provocaram danos consideráveis. No segundo exemplo, remete para a resiliência de catedrais existentes em cidades bombardeadas durante a segunda guerra mundial, que permaneceram de pé, ao contrário dos edifícios adjacentes. Numa outra publicação, (Heyman, 1966) enuncia um teorema que afirma que, caso as fundações de uma estrutura de pedra sofram pequenos movimentos, esses movimentos nunca vão promover o colapso da estrutura. Tal é justificado com o facto de, existindo numa fase inicial um estado de equilíbrio estaticamente admissível, após uma reduzida deformação, a estrutura adapta-se através abertura de fendas e de pequenos espaços entre aduelas. O autor defende que a fendilhação é o estado natural da alvenaria e que, quando a sua dimensão é da ordem de grandeza de um cabelo, as fendas podem-se fechar graças à elasticidade da alvenaria. A fendilhação, resultante de pequenos assentamentos de apoio, é provocada devido à fraca capacidade de transmissão de esforços de tração por parte da alvenaria e não representa um perigo para a integridade estrutural.

O estudo de uma ponte histórica de alvenaria deve ser realizado, em primeiro lugar, através de procedimentos não destrutivos. Esgotadas as opções que não interferem com a obra de arte, e caso seja necessário conhecer mais algum detalhe, recorre-se a procedimentos semidestrutivos, ou destrutivos. A Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela, tendo o estatuto de Monumento Nacional, como se verá no subcapítulo 6.5, não deve ser submetida a procedimentos de ensaio que provoquem qualquer tipo de dano. Assim, toda a informação da estrutura deverá ser proveniente de meios não destrutivos. (Proske & Pieter, 2009) apresentam uma tabela onde listam as técnicas de ensaio em função do tipo de danos que permitem aferir. Entre as técnicas apresentadas destacam-se as seguintes:

- Pesquisa histórica
- Inspeção visual
- Ensaios com esclerómetro
- Fotogrametria
- Resistividade elétrica
- Radiografia
- Georadar
- Ultrassons
- Monitorização e acompanhamento da estrutura

O processo de conhecimento da estrutura bem como das suas propriedades mecânicas será apresentado com detalhe no subcapítulo 6.4.

De acordo com (Proske & Pieter, 2009), as pontes históricas rodoviárias podem não conseguir suportar as solicitações provocadas pelo tráfego automóvel atual. Em 1880, foi desenvolvido em simultâneo por Benz, Daimler e Maybach, o primeiro automóvel com motor a gasolina. Esta novidade desencadeou o aumento de tráfego e do peso dos veículos. Nos anos cinquenta do século XX deu-se o desenvolvimento em massa da produção de veículos ligeiros de passageiros. Na Alemanha, o número de automóveis ligeiros aumentou de 2.5 milhões, nos anos cinquenta, para 44 milhões em 2001. Os dados são apresentados num relatório da Autoridade Federal de Transporte Motor (Krafftahrt-Bundesamt– KBA) citado pelo autor anterior (Bartholmae, 2001).

Tanto na rodovia como na ferrovia, o tráfego aumentou exponencialmente, tanto em quantidade de veículos, como em peso dos mesmos, podendo atingir valores da ordem dos 150 kN por eixo, no caso da rodovia. As pontes, sendo estruturas de elevada importância, são usualmente concebidas tendo em conta a evolução do tráfego para um dado horizonte temporal. No entanto, fatores imprevisíveis que alterem as características do tráfego bem como a contínua utilização da estrutura para além do seu período de vida útil, podem-se revelar problemáticos para as estruturas existentes.

A obra de arte em análise é conhecida por Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela ou por Ponte Românica de Torre de Dona Chama. A sua construção remonta ao período romano, mais concretamente, ao século III. Dada à sua antiguidade, aproximadamente mil e setecentos anos de existência, seria de esperar que a estrutura apresentasse problemas de índole estrutural. Segundo (Alves, 2009), as anomalias em pontes de alvenaria de pedra são provocadas por uma ou mais causas entre o seguinte leque: materiais, fundações, água, exposição ao meio ambiente e ação humana e manifestam-se através de deformações, roturas, fendas, alteração dos materiais, erosão, depósitos de vegetação, eflorescências e criptoeflorescências. No subcapítulo 6.7 serão apresentadas as anomalias observadas e a possível causa das mesmas.

Até aos dias de hoje, foram executadas algumas intervenções com o propósito de garantir o correto funcionamento da ponte, mantendo as devidas condições de segurança. No entanto existem ainda algumas anomalias que necessitam de ser corrigidas. A gestão da ponte está a cargo da empresa Infraestruturas de Portugal (IP), que é responsável pelo planeamento, construção, modernização, conservação e exploração das infraestruturas rodoviárias e ferroviárias a nível nacional. As inspeções são realizadas de cinco em cinco anos através do Sistema de Gestão de Obras de Arte (SGOA), onde se atribui uma classificação do estado de conservação de cada componente estrutural.

Em colaboração com a IP, pretende-se contribuir para o conhecimento e compreensão do comportamento estrutural da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela e para a elaboração de documentos representativos da estrutura. Como se verá no subcapítulo 6.8, a informação existente da estrutura é praticamente inexistente. Posto isto, pretende-se também analisar a integridade estrutural e a

segurança da ponte através do software de análise limite *LimitState RING* (LimitState Ltd, 2016) e o software de cálculo automático *ABAQUS CAE* (Simulia, 2001).

Ao longo deste capítulo, apresenta-se sob a forma de subcapítulos a localização, o procedimento de análise da ponte, o contexto histórico e descrição da estrutura, as observações realizadas através de uma inspeção visual, o levantamento topográfico, fotogramétrico e com georadar, a verificação de segurança através dos softwares *LimitState RING* e *ABAQUS CAE* e, por fim, são tecidos alguns comentários sobre a Ponte.

## **6.2. SISTEMAS DE GESTÃO E AGILIZAÇÃO DE PROCESSOS**

### **6.2.1. SGOA – SISTEMA DE GESTÃO DE OBRAS DE ARTE**

O Sistema de Gestão de Obras de Arte (SGOA) utilizado pela IP é um sistema de gestão integrada de património desenvolvido pela empresa Betar Consultores, Lda, que permite ao dono de obra aceder, a qualquer momento, a toda a informação relativa às suas infraestruturas. Esta informação trata o estado de conservação e manutenção das obras de arte, o que permite a tomada de decisões referentes ao investimento de forma ponderada e criteriosa, (Mendonça, Brito, & Costa, 2016). A plataforma existe em formato digital, engloba um elevado conjunto de informação e pretende ser uma ferramenta de apoio à decisão. A informação organizada no *software* é dividida em 11 módulos:

1. Tabelas auxiliares
2. Gestão de Permissões
3. Módulo de Inventário
4. Módulo de Inspeções Principais
5. Módulo de Inspeções de Rotina
6. Módulo de Inspeções Subaquáticas
7. Módulo de Batimetria
8. Módulo de Histórico
9. Módulo de Consultas
10. Módulo de Registo de Transporte Especiais
11. Módulo de Relatórios – Exportação em Lotes

O sistema SGOA, que conta com mais de 20 anos de experiência na gestão de obras de arte, trata da gestão de mais de 16.000 mil obras, em Portugal e no estrangeiro. Segundo (Mendonça et al., 2016), o continuo desenvolvimento do sistema tem sido uma máxima e, desta forma, aponta-se a expansão da aplicação para dispositivos móveis e a introdução de modelos de degradação das anomalias como desenvolvimentos futuros.

O sistema SGOA foi implementado na empresa Estradas de Portugal, SA (EP) que se fundiu com a REFER, E.P.E no dia 1 de junho de 2015 pelo Decreto-Lei nº 91/2015 de 29 de maio, dando origem à empresa Infraestruturas de Portugal (IP).

De acordo com os dados mais recentes facultados pela IP, encontram-se atualmente inventariadas no GOA 5961 obras de arte sob sua gestão direta, das quais cerca de 1132 (19%) são compostas por alvenaria. do universo de 1132 obras de arte de alvenaria, apenas 10 se encontram classificadas como Monumento nacional ou Imóvel de Interesse Público e são diretamente geridas pela IP.

Em função das anomalias identificadas nas Inspeções Principais das 10 pontes, foram traçados planos de intervenção que passam por ações de manutenção, conservação, reabilitação ou reforço em função do nível de dano. A hierarquia das intervenções foi atribuída em função da necessidade de intervenção que cada obra de arte apresentava. A Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela, por exibir uma aparência estável, encontra-se encaminhada para projeto, em que a tipologia dos trabalhos será de reabilitação e reforço estrutural, caso se venha a verificar necessário.

### **6.2.2. MANUAL DE MANUTENÇÃO DE PONTES HISTÓRICAS EM ALVENARIA DE PEDRA**

As 10 pontes de alvenaria classificadas ou em vias de classificação, referidas no subcapítulo 6.2.1, apesar de se encontrarem a cargo da IP, necessitam da aprovação da Direção Geral do Património Cultural (DGPC) para que seja executada qualquer empreitada de reabilitação, (N. Rodrigues & Ramos, 2012).

O processo de aprovação da empreitada, de acordo com (N. Rodrigues & Ramos, 2012), é iniciado pela IP através da definição dos trabalhos a realizar no âmbito do contrato do estudo de reabilitação e reforço. Nesta fase estabelecem-se os trabalhos auxiliares e o projeto de intervenção. Os trabalhos auxiliares contemplam a caracterização da obra de arte em termos geométricos, físicos e patológicos, o que inclui a realização de levantamento topográfico rigoroso, realização de inspeções principais e subaquáticas, realização de uma campanha geológica/geotécnicas e de uma campanha experimental de caracterização dos materiais, apenas quando for possível interferir na estrutura. O projeto de intervenção contempla a avaliação do interesse patrimonial da obra, o estudo prévio que experimenta diferentes cenários de intervenção e compara o custo benefício de cada um, e por fim, o projeto de execução com uma descrição detalhada dos trabalhos, materiais, condicionamento e processo construtivo.

Antes de se iniciar a elaboração do estudo prévio, o adjudicatário é alertado para o tipo de estrutura que vai intervir e recebe informação relevante à obra de arte, cedida pela DGR ou pela IP. Posteriormente, em função das anomalias detetadas, define-se se a intervenção se trata apenas de uma reabilitação, ou de um reforço estrutural. A intervenção deverá sempre ter em conta a

preocupação estética, arqueológica, estrutural e de segurança rodoviária. Isto aumenta a complexidade da mesma, pois existem várias vertentes que têm de ser satisfeitas em simultâneo.

(N. Rodrigues & Ramos, 2012) referem que o processo de reabilitação pode revelar-se de grande complexidade, na medida em que é necessário um pleno entendimento entre a IP, a DGR e o adjudicatário. Assim, a IP decidiu criar um documento técnico designado por “Manual de Manutenção de Pontes Históricas em Alvenaria de Pedra”, que será elaborado pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL), a fim de agilizar os processos de autorização de intervenções de manutenção, mediante protocolo celebrado para o efeito, com a IP.

### 6.3. LOCALIZAÇÃO

A Carta Militar nº 62, com o título “Valpaços”, produzida pelo Centro de Informação Geoespacial do Exército, ilustra à escala 1/25.000 uma parte do território português onde se integra a Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela. A Figura 6.1 ilustra parcialmente a carta militar nº 62, onde se assinala a localização da ponte. A mesma figura procura também referenciar a ponte em relação ao território Português, numa imagem extraída do *google maps*. As coordenadas geográficas (M, P) da ponte são (82181, 222275) à entrada da obra de arte e (82248, 222227) à saída.

A ponte localiza-se no concelho de Mirandela, distrito de Bragança e integra a estrada nacional EN206 ao quilómetro 184+150, que liga as cidades de Vila do Conde a Bragança.



Figura 6.1 - Localização da Ponte da pedra sobre o Rio Tuela, (Carta Militar nº 62, Centro de Informação Geoespacial do Exército) e *google maps* da zona norte do território Português

## 6.4. TÉCNICAS DE RECONHECIMENTO DA PONTE

Segundo (Proske & Pieter, 2009) existem várias técnicas não destrutivas para avaliar estruturas históricas de alvenaria. As mesmas foram apresentadas por tópicos no subcapítulo 6.1 e pretende-se, no presente subcapítulo, acrescentar mais detalhe, explicitando a informação que se pode obter em cada uma delas e que tipo de danos permitem aferir.

A pesquisa histórica deve ser a primeira etapa a realizar no estudo de uma estrutura antiga. Na grande maioria dos casos, para obras com relativa antiguidade, é possível obter informação acerca dos materiais utilizados, tecnologia de construção e geometria. O caso de estudo em análise, dada a sua antiguidade, não possui documentos relativos à sua construção. A informação é escassa e está espalhada por vários documentos, como Memórias Paroquiais, entre outros registos, cujo foco não é esta ponte em particular.

Deve-se proceder à realização de uma inspeção visual, com o intuito de registar deformações e fendilhações em componentes estruturais ou aparentes variações em relação ao seu estado original, bem como a presença de vegetação. A inspeção visual é o método não destrutivo mais barato e eficiente e, como tal, o acompanhamento de estruturas históricas deve prever um plano de inspeção, de modo a acompanhar a evolução das anomalias.

A fotogrametria é utilizada para identificar deformações e descontinuidades na estrutura através de um conjunto de fotografias de elevada resolução, orientadas de acordo com um referencial. Ao aplicar esta técnica, é possível monitorizar anomalias e quantificar variações geométricas da ordem do milímetro, que em engenharia civil, representa um nível de precisão elevado.

As restantes técnicas recorrem a aparelhos que produzem e registam os tempos de atravessamento de ondas mecânicas/elétricas no corpo da estrutura. A partir desta informação, podem-se descobrir os materiais e a espessura dos mesmos em zonas impossíveis de observar sem provocar danos. A análise da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela foi executada com recurso às técnicas que se apresentam em seguida e são descritos nos subcapítulos seguintes, de 6.5 a 6.8.

1. Pesquisa histórica;
2. Inspeção visual da estrutura;
3. Levantamento topográfico;
4. Levantamento fotogramétrico;
5. Levantamento com Georadar.

## 6.5. PESQUISA HISTÓRICA

De acordo com a descrição de (Jana & Noé, 2010), disponível no website do SIPA (Sistema de Informação para o Património Arquitectónico), a ponte em estudo terá sido construída no século III,

época em que o império romano ocupava a Península Ibérica. A ponte integra o itinerário XVII de Antonino, à semelhança da ponte de Chaves descrita no subcapítulo 2.3. Este itinerário romano liga Braga (Bracara Augusta) à cidade espanhola de Astorga, passando por Chaves (Aquae Flaviae) e integra um conjunto de outros itinerários que cruzavam o império.

A ponte sobreviveu ao teste do tempo até ao presente, porém, existem poucos registos históricos da mesma, provavelmente devido ao seu enquadramento rural e isolado. As referências mais antigas da ponte datam de 1758, ano em que se iniciou um inquérito a nível nacional designado por “Memórias Paroquiais de 1758”. Este inquérito surge a mando de Marquês de Pombal na tentativa de aferir os danos provocados pelo sismo de 1755 em todo o território Português. Além da informação referente ao grande sismo, procurava também caracterizar as terras, as serras, os rios e a população, através de sessenta perguntas que seriam preenchidas por todos os párocos e enviadas para Secretaria de Estado dos Negócios do Reino. As respostas deste questionário encontram-se hoje guardadas na Torre do Tombo, em Lisboa e podem ser consultadas no seu formato original.

Através do programa da publicação das Memórias Paroquiais de 1758, (Capela, Borralheiro, & Matos, 2007) editaram o quarto volume referente às memórias dos concelhos pertencentes ao distrito de Bragança. No capítulo 2.2, que trata “As redes hidrográficas concelhias”, os autores transcrevem uma porção do texto da época referente à Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela. A transcrição descreve a ponte da seguinte forma: *“de cantaria com seis olhais com bastante grandeza, de largura e altura muito forte e bem feita, larga bastantemente que cabem dois carros carregados, e aparados, por ela francamente, tem guardas de ambas as partes, de uma ponta à outra oitavadas, bem lavradas, e muito fortes. Conta-se e se diz que é das melhores e mais bem feitas do Reino”*. Esta descrição traduz a aparente robustez e boa integridade estrutural da ponte para os parâmetros da época. No entanto, não faz nenhuma análise acerca da data provável da sua construção.

Em 1977, (Mourinho, 1978), que viajava de carro pela atual EN206 no sentido Bragança, decide interromper o percurso após atravessar a Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela para a observar. A ponte chamou a sua atenção por lhe parecer semelhante à ponte de Chaves e à ponte de Salamanca, ambas romanas. Após uma observação cuidada, verificou a existência de orifícios típicos do forfex, que indicam que se trata de uma ponte romana. Apurou ainda que os cortamares possuíam um aparelho regular e mais recente em relação aos arcos e muros de tímpano, o que sugere que foram reforçados, possivelmente em meado do século XIX, ou posteriormente, quando se adaptou a ponte para a passagem de veículos mais pesados. O autor constatou que a ponte podia ter sido esquecida pelos estudiosos do período romano de Trás-os-montes e, desta forma, consultou documentos do tema onde procurou referências desta. No volume IX das “Memórias Arquelógico-Históricas”, escrito em 1934 pelo Abade do Baçal, existe referência da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela. O autor descreve a estrutura da seguinte forma: *“A Ponte de Pedra sobre o rio Tuela, logo adiante da Torre de Dona Chama, consta de seis arcos de volta redonda, com os vincos do fórfez bem nítidos, mas apresentando a singularidade de serem cavados em forma de cunha, secção quadrangular, que vai adelgacando para o interior da aduela. Robusta em si e nos cortamares. Numa e noutra extremidade,*

abriram-lhe dois grandes viadutos quadrangulares para o escoamento das águas nas grandes enchentes. É romana, se bem que com reconstruções”. Com isto, (Mourinho, 1978) confirma que a ponte é de origem romana e conclui que a Direção Geral do Património Nacional deve classifica-la como Monumento Nacional Romano. Refere também, que o concessionário da época, a Junta Autónoma de Estradas, deve realizar a sua conservação com especial atenção à estrutura de origem romana.

Em 1980, foi executada, pela Junta Autónoma de Estradas, uma intervenção que visou a consolidação geral da estrutura da ponte, o benefício dos paramentos, impermeabilização do tabuleiro e refechamento de juntas (Jana & Noé, 2010). Mais tarde, no ano de 1982, foi-lhe concedido o estatuto de Monumento Nacional pelo Decreto nº 28/82, DR, 1.ª série, n.º 47 de 26 de fevereiro de 1982.

Em 2012 procedeu-se à última repavimentação, onde a Ponte beneficiou da aplicação de uma nova camada de betuminoso.

## 6.6. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

A Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela, como o próprio nome sugere, é uma ponte em alvenaria de pedra, composta por seis arcos de alvenaria iguais, apoiados em cinco pilares de iguais dimensões e dois encontros. A Figura 6.2 apresenta uma fotografia de satélite da estrutura onde se identificam os arcos (A), os pilares (P), os encontros, os alçados e o sentido de escoamento do rio Tuela através de setas. Esta figura está orientada segundo o Norte cartográfico e pretende atribuir uma nomenclatura que facilite a referência dos diversos elementos estruturais nas figuras que se seguem.



Figura 6.2 - Planta Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela (Google Maps)

O autor (Jesus, 2013) caracteriza a geometria e a estrutura de um vasto conjunto de pontes de arco de alvenaria na região de Bragança. Dentro desse conjunto, encontra-se a Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela, que se caracteriza pela sua regularidade geométrica, com a exceção da altura de enchimento no coroamento dos arcos. (Jesus, 2013) apresenta na Tabela 6.1 as medidas dos arcos, onde se observa, na última coluna, variações na altura de enchimento.

Tabela 6.1 - Características dos Arcos, (Jesus, 2013)

Vãos = 6

Caraterísticas do Vão do Arco [m]	Nº Vão	Livre (s)	Teórico (s <sub>t</sub> )	Altura (r)	Esp. do arco (t)	Ench. (h)
	1	8,95	11,45	4,00	0,75	0,25
2	8,95	11,45	4,00	0,75	0,10	
3	8,95	11,45	4,00	0,75	0,00	
4	8,95	11,45	4,00	0,75	0,20	
5	8,95	11,45	4,00	0,75	0,30	
6	8,95	11,45	4,00	0,75	0,55	

Verifica-se que a altura do enchimento pode variar entre 0 e 0,55 m, em função do arco, e todos apresentam a mesma geometria: 8,95 m de vão livre, 4 m de altura e 0,75 m de espessura das aduelas. Os pilares possuem 2,5 m de largura e 1,8 m de altura, o encontro Oeste mede aproximadamente 12 m de comprimento e o encontro Este, 16 m. Através de medições executadas no local, do levantamento de (Jesus, 2013) e de dados facultados pela IP, foi elaborada uma planta e um alçado preliminar, representados na Figura 6.3, uma vez que não existe nenhum documento que revele os desenhos técnicos da estrutura. É relevante sublinhar que a Figura 6.3 é uma representação aproximada e que mais à frente será apresentada uma representação exata, com recurso à fotogrametria, que apresenta uma precisão da ordem do milímetro.

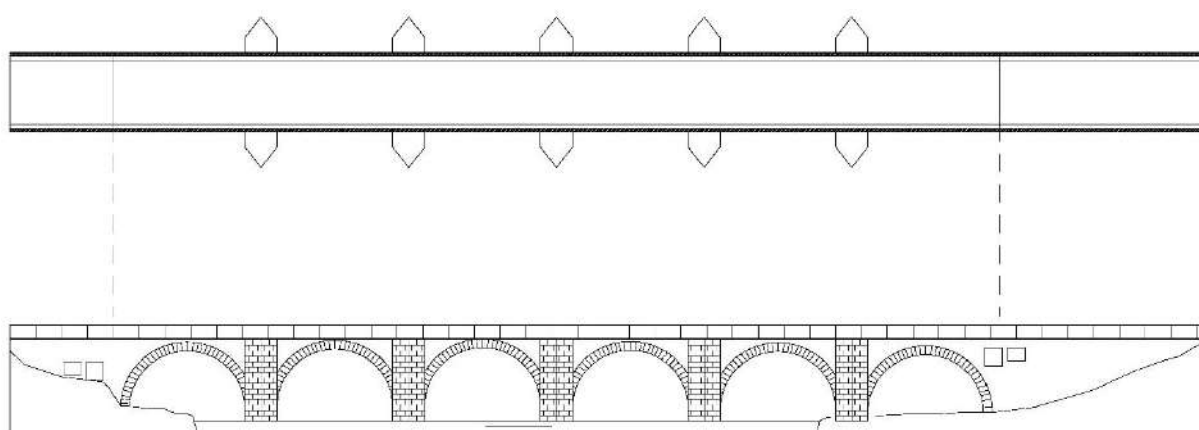


Figura 6.3 - Planta e Alçado Sul da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela

Em relação aos materiais, a alvenaria de pedra é totalmente composta por blocos de rocha granítica de aspeto almofadado assente sem argamassa, com a exceção dos quebra mares que, por serem mais recentes, apresentam um aparelho mais regular de juntas lisas e argamassadas. Os materiais que compõem o enchimento sobre os arcos permanecem uma incógnita.

À data da primeira visita à Ponte, a estrutura encontrava-se com alguma vegetação, como se pode observar na Figura 6.4. Para realizar o levantamento rigoroso, através da fotogrametria, foi necessário limpar a estrutura da presença vegetal. A Figura 6.5 apresenta a ponte após a IP ter procedido aos trabalhos de limpeza e desmatagem, quer da estrutura como dos taludes que compõem a sua envolvente.



Figura 6.4 - Estrutura antes de ser desmatada; A1 e A2; Alçado Sul; Encontro Oeste



Figura 6.5 – Estrutura após ser desmatada; A1, A2 e A3; Alçado Sul, Encontro Oeste

Em seguida, apresenta-se, sob a forma de subcapítulos, a descrição dos vários elementos da ponte, acompanhada de fotografias capturadas no dia da realização do levantamento rigoroso da inspeção da ponte.

### 6.6.1. FUNDAÇÕES E PILARES

Todos os pilares da ponte estão protegidos por quebra mares que se desenvolvem ao longo dos pilares e dos tímpanos, tanto a montante como a jusante. Os quebra mares de jusante são mais pequenos que os de montante e as suas dimensões em planta são desiguais.

A base dos pilares está protegida com enrocamento de alvenaria grosseira ligada com argamassa, como é observável na Figura 6.6. Pensa-se que os pilares assentam diretamente em rocha no leito do rio através de fundações diretas. O pilar desenvolve-se desde a fundação até à zona marcada na Figura 6.7, designada por hasteal.



Figura 6.6 – Pormenor de enrocamento na base; P5; alçado Norte, Encontro Este



Figura 6.7 – Divisão entre pilar e arco; P4; alçado Norte; Encontro Este

### 6.6.2. ENCONTROS

Os encontros são materializados por unidades de alvenaria granítica de dimensões desiguais com juntas secas e pelo material de enchimento. Ambos os encontros da ponte possuem descarregadores de cheia, que beneficiam o escoamento do rio em situação de cheia. A Figura 6.8 apresenta as aberturas do encontro Este, vistas de Sul, que são formadas com recurso à colocação de várias vigas de pedra, que vencem um vão de 1,35 m, com aproximadamente 0,30 m de altura e de espessura. A Figura 6.9 ilustra o encontro Oeste, visto de Sul, onde se observa uma pequena deformação no tímpano que será abordada no subcapítulo 6.7.

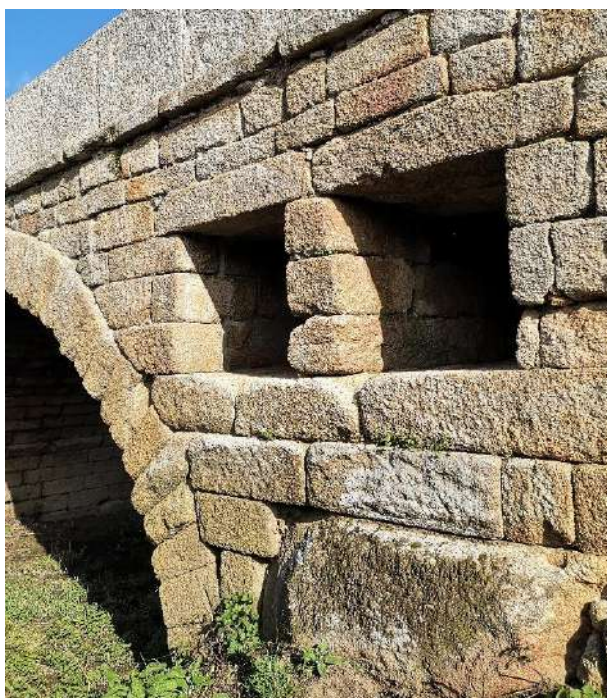


Figura 6.8 – Pormenor Encontro Este



Figura 6.9 – Pormenor Encontro Oeste

### 6.6.3. ARCOS

Os seis arcos da ponte possuem as mesmas dimensões: 8,95 m de vão livre, 4 m de altura e são compostos aproximadamente por 50 aduelas, cada com 0,75m de altura, como foi referido no subcapítulo 6.6. A diferença entre eles reside na altura de enchimento existente no coroamento, onde no caso mais desfavorável, paticamente não existe enchimento, arco A3. As Figuras 6.10 e 6.11 mostram o arco A6 em detalhe e uma parte do alçado Norte onde se apresentam os arcos A2, A3 e A4.



Figura 6.10 – Pormenor Arco; A6; Alçado Sul; Encontro Este



Figura 6.11 - Vista de três arcos consecutivos; A2, A3 e A4; Alçado Norte; Encontro Oeste

#### 6.6.4. MUROS DE TÍMPANO

Os muros de tímpano, à semelhança do resto da estrutura, são compostos por alvenaria de pedra granítica e têm como função resistir a ações transversais transmitidas pelo enchimento. As figuras seguintes ilustram os muros de tímpano no encontro Oeste, tanto no alçado Norte, como no alçado Sul.



Figura 6.12 - Muro de tímpano situado no encontro Oeste, visto de Norte



Figura 6.13 - Pormenor muro de tímpano no encontro Oeste, vista de Sul

### 6.6.5. GUARDA CORPOS E GÁRGULAS

Os guarda corpos, ilustrados na Figura 6.14, possuem 1 m de altura e delimitam o tabuleiro de ambos os lados ao longo de toda a estrutura. São também constituídos por blocos de granito. Existe um troço junto ao pilar P3 que aparenta ser mais recente que as restantes guardas. O pavimento é betuminoso, apresenta-se em boas condições e conta com gárgulas espaçadas de 10 em 10 m, ao nível do pavimento, Figura 6.15.



Figura 6.14 - Pavimento, guardas e gárgulas ao nível do tabuleiro



Figura 6.15 - Pormenor gárgula ao nível do tabuleiro

## 6.7. INSPEÇÃO VISUAL DA ESTRUTURA

Foi realizada uma inspeção visual e o levantamento rigoroso da estrutura, explicado no subcapítulo 6.8, no dia 11 de fevereiro de 2020. Os trabalhos iniciaram-se às nove horas da manhã, o céu apresentou-se limpo com períodos de nuvens e a temperatura rondou os 15 °C. Em primeiro lugar, durante o período da manhã, executou-se o levantamento topográfico, seguido do levantamento fotogramétrico. Da parte da tarde fez-se o levantamento com georadar e a inspeção visual da estrutura.

Além das anomalias da estrutura, verificou-se a existência de um afluente de muito reduzida dimensão que desagua junto ao encontro Este da estrutura. Pensa-se que este afluente apenas esteja ativo entre o Outono e a Primavera devido à maior precipitação. Antes da inspeção, foi efetuada uma visita à ponte, a 7 de setembro de 2019, em que não se verificou a existência do afluente, o que reforça a sazonalidade do mesmo. Além do afluente, é também relevante referir que no muro do tímpano do encontro Oeste visto de sul, existe já um tronco de arbusto com aproximadamente 10 cm de diâmetro que se situa entre unidades de alvenaria. À semelhança deste caso, nos pilares existem também situações semelhantes que não foram quantificadas com mais detalhe por serem inacessíveis.

Em seguida, são ilustradas as anomalias identificadas, acompanhadas de fotografias e em anexo apresenta-se um esquema final, que atribui cada anomalia à zona da estrutura afetada (Mapa de Anomalias).

### **ANOMALIA 1 – EROÇÃO DAS JUNTAS ENTRE UNIDADES DE ALVENARIA**

A erosão das juntas entre unidades de alvenaria é um problema que afeta todos os pilares, bem como zonas emersas nos arcos. Quanto maior é a degradação da alvenaria, maior é a velocidade com que esta se deteriora. A longo prazo, a perda de material pode provocar o destacamento de blocos de granito, o que diminui drasticamente a resistência do pilar. A Figura 6.16, capturada no dia do levantamento, permite observar a erosão acentuada nas juntas entre blocos. Como se pode ver na figura, as primeiras três fiadas de pedra a contar do rio apresentam mais danos devido à subida das águas ao longo do ano. A Figura 6.17, observada em setembro de 2019, ilustra o pilar P4 num período em que o nível da água se encontrava mais baixo. Verifica-se que os danos aumentam em profundidade e é recomendável intervir a este nível. Esta anomalia deve-se ao método construtivo da época, que utilizava espaços entre unidades de alvenaria para facilitar a sua colocação.



Figura 6.16 - Erosão das juntas do Pilar P4, lado Este



Figura 6.17 - Erosão juntas do Pilar P3, lado Este

## **ANOMALIA 2 – DESCOMPRESSÃO LATERAL DOS ARCOS**

A descompressão lateral dos arcos, abordada no subcapítulo 4.3.1, é um mecanismo de rotura que se manifesta na direção transversal. Através da observação da estrutura, conclui-se que os mecanismos ilustrados no lado direito da Figura 4.9, que se designam por flexão e separação, se encontram presentes na Ponte da Pedra. A Figura 6.18, que ilustra o intradorso do arco A1 e uma pequena parte do muro de tímpano Norte, mostra sinais claros de flexão ao nível do muro de tímpano e separação no arco. A deformação no muro de tímpano é mais evidente ao nível do solo, uma vez que o muro se encontra desalinhado das aduelas do arco em quase 10 cm. O mecanismo de separação que se forma nas laterais do arco é evidente dado que já foi reparado uma vez por atirantamento e preenchimento por argamassa. Este mecanismo verifica-se de alto abaixo do arco e aparenta estar estabilizado.

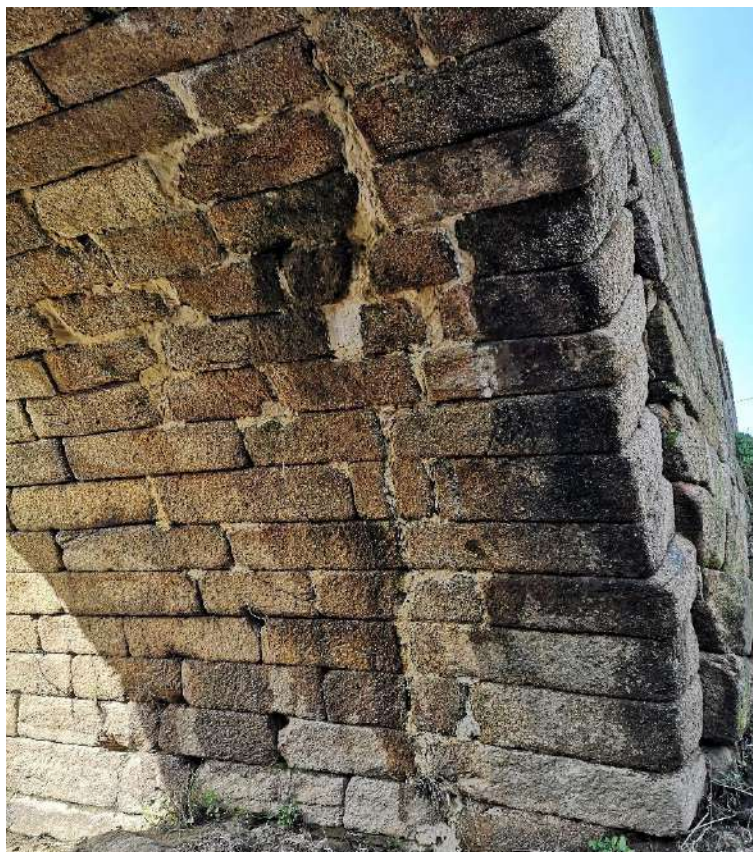


Figura 6.18 - Arco A1, lado Norte, Encontro Oeste

### **ANOMALIA 3 – DEFORMAÇÕES NO MURO DE TÍMPANO NORTE, ENCONTRO ESTE**

À semelhança do que foi observado na anomalia anterior, também o muro de tímpano Norte do Encontro Este se encontra com uma deformação ligeira e localizada. Na Figura 6.19 é visível um pequeno “embarrigamento”.



Figura 6.19 - Muro de tímpano Norte; Encontro Este

**ANOMALIA 4 - DEFORMAÇÕES NO MURO DE TÍMPANO SUL E NORTE, ENCONTRO OESTE**

No muro de tímpano Sul do Encontro Oeste, verifica-se também a existência de grandes deformações e acentuado “embarrigamento” localizado. A deformação é mais visível ao nível da parte mais baixa do muro, à semelhança do muro Norte. As Figuras 6.20 e 6.21 permitem observar a existência de juntas cada vez mais largas e movimentos de rotação e translação das unidades de alvenaria.



Figura 6.20 - Vista frontal do muro de tímpano Sul; Encontro Oeste



Figura 6.21 - Vista lateral do muro de tímpano Sul; Encontro Oeste

O muro de tímpano Norte deste encontro foi parcialmente representado na Figura 6.18 e como foi referido anteriormente, apresenta também grandes deformações.

**ANOMALIA 5 – LAJETAS PARTIDAS, SECÇÃO DE VAZÃO OESTE**

Nas secções de vazão de caudal de cheia presentes no Encontro Oeste, verificou-se a existência de uma lajeta que apresenta uma pequena fenda e outra, no interior da secção de vazão, com uma fenda considerável. Ambas as fraturas são provocadas por flexão e não representam perigo para a estrutura, uma vez que os esforços podem-se distribuir pelas restantes lajetas. Deve-se, no entanto, acompanhar esta anomalia e verificar a sua evolução, bem como estado das restantes lajetas.



Figura 6.22 - Lajeta fissurada na primeira secção de vazão, Alçado Norte, Encontro Oeste

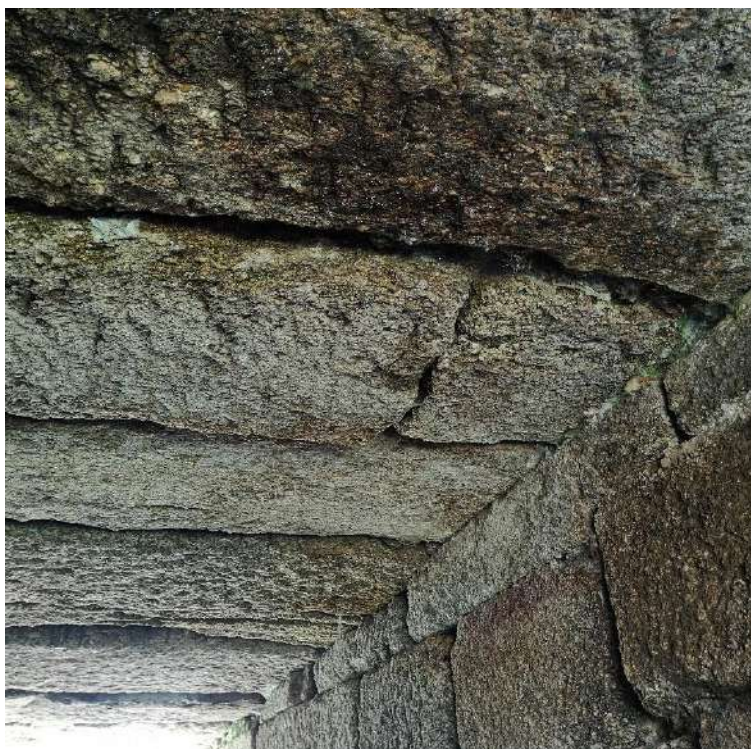


Figura 6.23 - Lajeta fraturada na primeira secção de vazão, Alçado Norte, Encontro Oeste

**ANOMALIA 6 – ROTAÇÃO NO PILAR P3**

O pilar P3 apresenta evidências da ocorrência de assentamento/rotação de apoio. Este movimento é visível através das deformações existentes nas guardas do lado Sul (desalinhamento da guarda), observáveis na Figura 6.24. Além da deformação, é de salientar que um troço da guarda Sul sobre o pilar P3, representada na Figura 6.25, foi reparado e a pedra que materializa a guarda foi substituída. Neste caso a alteração da guarda deveu-se ao embate de veículos e não a movimentos nos apoios.



Figura 6.24 – Deformação na guarda Sul; P3



Figura 6.25 - Zona reparada na guarda Sul; P3

### **ANOMALIA 7 – INFILTRAÇÕES NOS ARCOS**

Verificam-se infiltrações nos arcos, onde foi possível aferir em detalhe o intradorso, arcos A1 e A6. Os restantes arcos, por se situarem sobre o rio, não foram observados de perto. No entanto é expetável que a anomalia se verifique nos demais arcos. Observaram-se diversas zonas de infiltração como a apresentada na Figura 6.26. Estas infiltrações são provavelmente criadas devido à infiltração de água ao nível do pavimento e dos encontros.



Figura 6.26 - Infiltração de água no arco A1

### **ANOMALIA 8 – VEGETAÇÃO NA ESTRUTURA**

Torna-se necessário salientar a presença de vegetação com um nível de desenvolvimento avançado, que permanece na estrutura, resistindo às ações de limpeza. Com o tempo formam-se, entre pedras, estruturas vegetais resistentes de diâmetro considerável que forçam a abertura de juntas na alvenaria e provocam o destacamento de unidades de pedra. Esta anomalia é comum à maioria das pontes de alvenaria. Tratando-se de uma ponte classificada, este tipo de trabalho torna-se mais complicado devido às exigências e cuidados a ter com a estrutura.

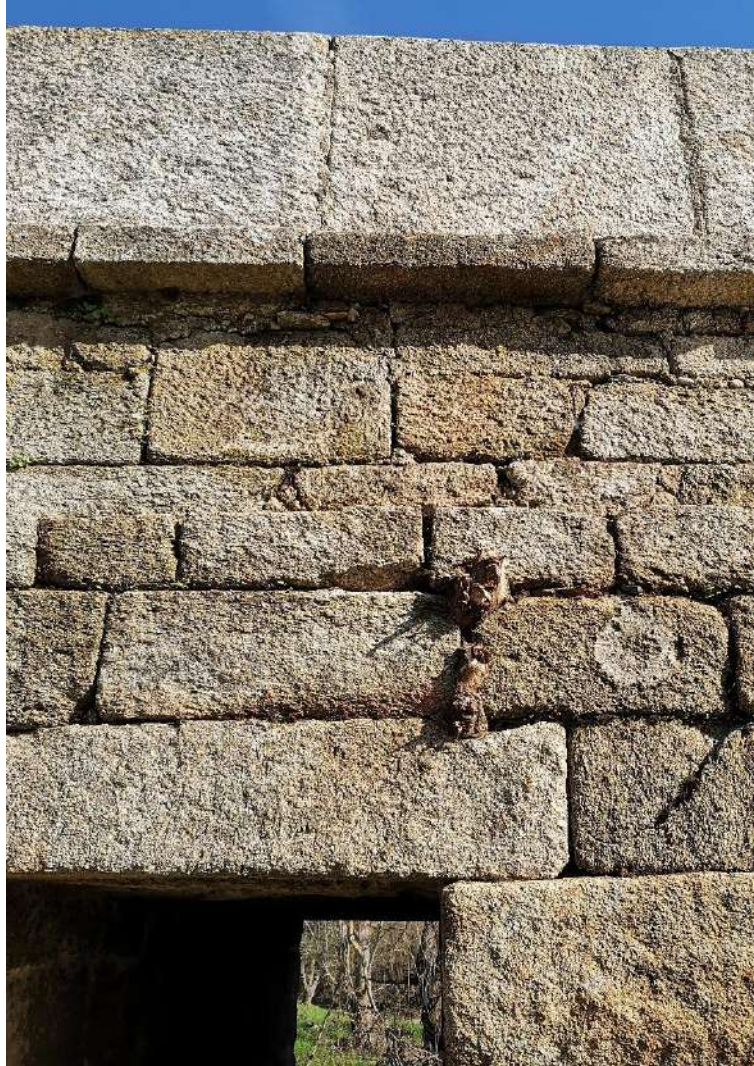


Figura 6.27 - Vegetação a crescer entre unidades de alvenaria; alçado Sul; Encontro Oeste

Em anexo, encontra-se um mapa da estrutura onde foram sinalizadas as várias zonas afetadas pelas anomalias anteriores. O mapa de anomalias foi criado com base no levantamento rigoroso realizado que será abordado no subcapítulo que se segue, 6.8.

## 6.8. LEVANTAMENTO RIGOROSO DA ESTRUTURA

A Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela está classificada como Monumento Nacional de interesse histórico, no entanto, carece de documentos como: um Template para Mapeamento de Anomalias e um Manual de Manutenção de Estrutura/Componentes. Além destes, não existe uma representação da planta, alçados ou cortes da estrutura. Assim sendo, uma parte deste trabalho consiste em recolher informação e trabalhá-la, por forma a criar os documentos e as peças desenhadas em falta. De modo a realizar esta tarefa com rigor e utilizando os benefícios trazidos pela Indústria 4.0, recorreu-se aos serviços da empresa ARROW 4D Consultores de Engenharia e Geofísica, Lda que desenvolve o seu trabalho no âmbito da geofísica, captura de realidade 3D, topografia e ainda cria soluções digitais para aplicar nos mercados que recorrem a esta tecnologia.

O processo de levantamento estrutural utilizado na Ponte da Pedra consistiu na realização de um levantamento topográfico, fotogramétrico e do corpo da estrutura com recurso a georadar. O conjunto de informação gerado por estes três processos foi posteriormente combinado de modo a obter, da melhor forma possível, a geometria da estrutura e a constituição do interior.

### 6.8.1. LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

O levantamento topográfico foi executado com recurso a um recetor GPS *Leica Viva GS15 GNSS RTK rover*. Este aparelho é composto por uma antena GNSS acoplada a um dispositivo de controlo que guarda a informação dos pontos mapeados através de um varão equipado com nível. O aparelho permite construir um mapa de pontos com as respetivas coordenadas geográficas e altitude. Com recurso ao equipamento enunciado anteriormente, foram mapeados 20 pontos como ilustrado na Figura 6.28. O processo de recolha de pontos é realizado por um operador que verifica a verticalidade do equipamento e a conexão aos satélites e à rede 4G que fornecem a localização do aparelho e a precisão do mesmo. Este procedimento foi realizado até se conhecerem as coordenadas de vários pontos notáveis da estrutura e do terreno em seu redor.



Figura 6.28 - Dispositivo de levantamento topográfico *Leica Viva GS15 GNSS RTK rover* utilizado pela ARROW 4D

### 6.8.2. LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO

A fotogrametria é uma técnica de particular utilidade na realização de levantamentos geométricos, especialmente em estruturas de difícil acesso. Permite obter uma grande quantidade de informação, com rapidez em comparação com processos de levantamento manuais, (S. D. F. Fernandes, 2016). A informação pode ser registada com um nível de detalhe suficientemente elevado para que possam ser detetadas irregularidades, defeitos e danos na estrutura. Esta técnica recolhe informação através de sensores passivos, como as câmaras fotográficas, ou sensores ativos, como lasers e outros aparelhos de medição semelhantes (Remondino, 2011). A principal diferença entre sensores, reside no facto da informação recolhida por sensores passivos necessitar de ser processada com fórmulas matemáticas que atribuem informação 3D através de imagens 2D. Ao contrário dos sensores passivos, os sensores ativos obtêm diretamente informação 3D.

De acordo com (S. D. F. Fernandes, 2016), a utilização de câmaras para capturar informação deve ter em conta um conjunto de requisitos de qualidade que são apresentado em seguida:

- A estrutura a mapear deve ocupar o centro e preencher o máximo possível da fotografia;
- Devem-se evitar cenários monocromáticos;
- Deve haver sobreposição de imagens na ordem dos 60 a 80% de modo a cada parte seja representada em três fotografias;
- Quanto maior for a sobreposição mais qualidade e precisão se obtêm no modelo;
- Deve-se mover a câmara em torno da estrutura;
- Garantir boas condições de iluminação e uniformidade da luz em toda a estrutura.

O levantamento fotogramétrico da ponte foi executado com recurso a um drone *DJI PHANTOM 4 PRO* ilustrado na Figura 6.29. Realizaram-se várias trajetórias de voo onde se procurou recolher imagens da estrutura de diferentes perspetivas, de modo a permitir a elaboração de uma nuvem de pontos tridimensional. Durante o levantamento foram recolhidas cerca de 1000 fotografias.



Figura 6.29 – Drone equipado com sensor passivo *DJI PHANTOM 4 PRO*

Através do software *Pix4Dmodel*, a informação armazenada em fotografias do tipo RGB, foi processada de modo a criar uma nuvem de pontos. A nuvem que se encontra representada na Figura

6.30 espelha o resultado do processamento fotogramétrico. Este modelo tridimensional é de enorme utilidade pois apresenta detalhe da ordem do milímetro, o que permite posteriormente a elaboração de desenhos técnicos rigorosos (planta, alçados e cortes). É importante referir que devido à orientação da ponte, um dos alçados está voltado a Norte e o outro a Sul. A somar a este fator, as condições de iluminação natural foram-se degradando à medida que o levantamento foi sendo feito. Como consequência, o alçado Norte ficou representado com menor qualidade.

A informação gerada pelo levantamento topográfico e fotogramétrico foi combinada de modo a elaborar a planta e georreferenciar o modelo 3D, no sistema de coordenadas ETRS89 – TM06 Portugal, os alçados e a planta da ponte que se encontram representados à escala 1/200 nos anexos são brevemente apresentados na Figura 6.31.



Figura 6.30 - Nuvem de pontos

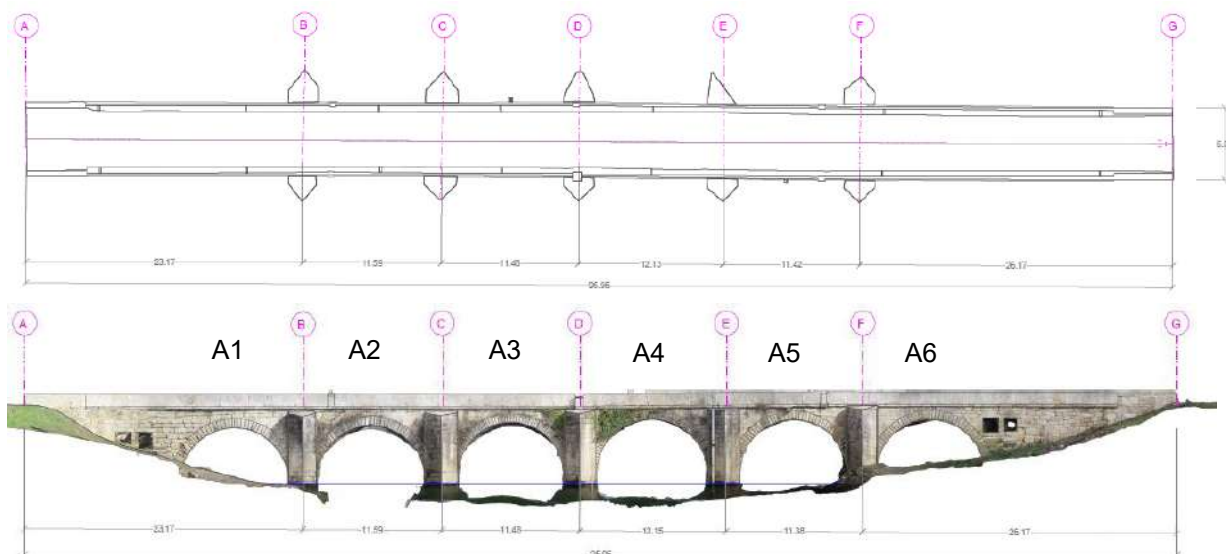


Figura 6.31 - Planta e Ortofotografia do alçado Sul

### 6.8.3. LEVANTAMENTO COM GEORADAR

Segundo (F. M. Fernandes & Lourenço, 2009), o georadar é uma ferramenta que permite conhecer o interior de uma estrutura sem proceder a ensaios destrutivos. O equipamento é composto por uma antena que emite ondas eletromagnéticas e regista a reflexão das mesmas. Desta forma, é capaz de detetar descontinuidades entre diferentes materiais em função da impedância dos mesmos. A antena pode ser trocada em função da frequência das ondas emitidas, de modo a possibilitar diferentes níveis de alcance e resolução. A antena de 500 MHz apresenta um bom alcance e média resolução, enquanto que as antenas de 1 GHz perdem alcance, mas aumentam a resolução. Com isto, em função da profundidade e da resolução que se pretende obter, são escolhidas as antenas a utilizar.

Nas pontes de alvenaria, o georadar procura detetar as dimensões das várias camadas como a camada de betuminoso, regularização, enchimento e finalmente a espessura dos arcos e dos muros de tímpano. Por forma a calibrar os equipamentos, é comum a extração de carotes de material para calibrar as velocidades de propagação e corrigir os resultados que são fortemente influenciados pela presença de humidade nos materiais. Quando não é possível extrair carotes, são utilizados valores recomendados pela bibliografia da especialidade.

O levantamento com georadar foi executado com recurso ao carrinho que se pode observar na Figura 6.32, que realizou seis passagens pelo tabuleiro da estrutura, em que duas foram no extremo Sul, duas no centro da rodovia e duas no extremo Norte. Foram utilizadas duas antenas, uma de 500 MHz e outra de 1 GHz.



Figura 6.32 - Georadar

A informação recolhida pelo georadar é apresentada sob a forma de radargramas como se ilustra na Figura 6.33. Para que esta informação seja interpretada de forma adequada, é necessário aplicar filtros e correções que transformam o resultado bruto num relatório limpo e coerente. Uma vez que o

processamento dos dados ainda não está concluído, será apenas utilizada uma análise preliminar do radargrama.

Os radargramas apresentados correspondem ao alçado Norte e ao alçado Sul, respetivamente. As linhas verticais marcam o centro dos pilares, ambas as passagens correspondem à deslocação do equipamento de Oeste para Este e é possível observar com clareza a reflexão dos seis arcos. De acordo com (F. M. Fernandes & Lourenço, 2009), a humidade provoca a atenuação do sinal eletromagnético e origina zonas sem reflexão em que nada se observa, como por exemplo, no topo dos arcos A3, A4 e A5. É possível também observar que o pavimento tem uma espessura de cerca de 20 centímetros. As hipérbolas superiores apresentadas são devidas às reflexões eletromagnéticas dos arcos. Inferiormente, é possível verificar novas hipérbolas junto a face inferior do radargrama que estão relacionadas com o nível da água do rio. Nos radargramas foi também possível detetar os vazios que a ponte apresenta (descarregadores de cheias).

Note-se que os resultados apresentados pelos radargramas são bastante homogéneos, o que indica que a ponte não apresenta anomalias significativas, nomeadamente, na alteração de espessura da camada de pavimento, ou vazios que possam existir no enchimento.

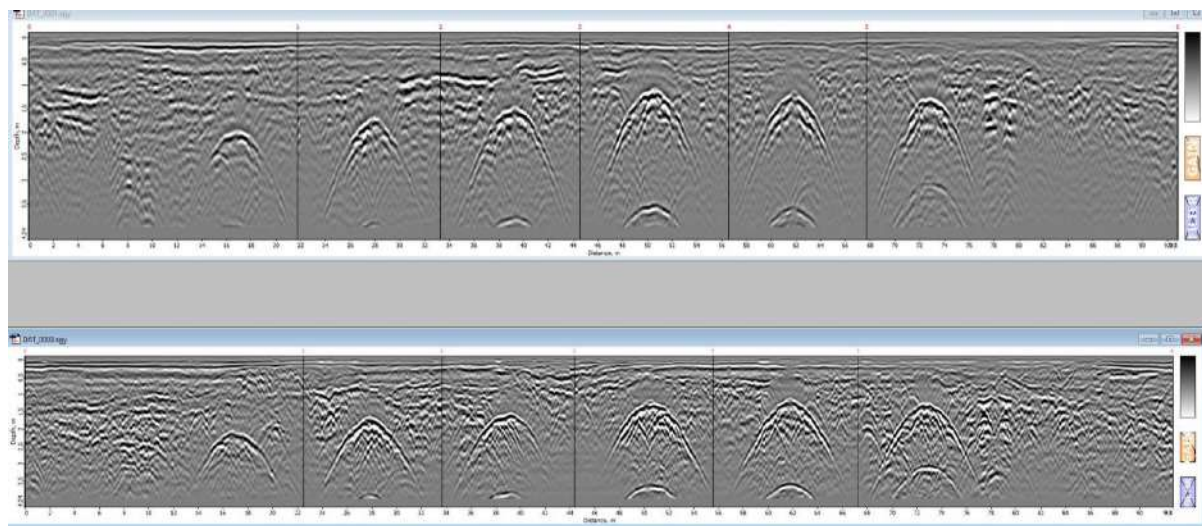


Figura 6.33 - Output da antena de 500 MHz, zona Norte, zona Sul

## 6.9. CARATERIZAÇÃO DOS MATERIAIS – VALORES OBSERVADOS NA BIBLIOGRAFIA

Pelo facto de a ponte estar classificada como Monumento Nacional, não há possibilidade de extração de carotes de pedra ou de enchimento que permitam caracterizar as suas propriedades mecânicas. Assim, adotaram-se valores standard semelhantes aos observados na bibliografia. Os valores adotados são muito conservativos devido ao desconhecimento quase total dos materiais.

**ALVENARIA DE PEDRA GRANÍTICA – VALORES USADOS NA BIBLIOGRAFIA**

O estudo levado a cabo por (G. F. M. Vasconcelos, 2005) que incidiu na caracterização de granitos e de paredes antigas de alvenaria de pedra, forneceu um vasto leque de propriedades mecânicas de vários granitos, na sua maioria, provenientes da zona norte de Portugal. O módulo de elasticidade,  $E$ , foi calculado apresentando valores entre os 11 GPa e os 63 GPa. O coeficiente de Poisson  $\nu$  foi também calculado, apresentando valores entre 0,19 e 0,35. Uma propriedade importante é a tensão de compressão,  $\sigma_c$ , que de acordo com o autor anterior varia entre os 26,0 e os 159,8 MPa. A tensão de tração,  $\sigma_t$ , foi calculada através de um ensaio de tração direta onde se registou valores entre os 1,56 e os 8,08 MPa.

O autor (P. M. Q. M. da Costa, 2007), que realizou a análise da construção e do comportamento de uma ponte de pedra, utilizou blocos de granito provenientes da pedreira de Mondariz que se situa na Galiza (Espanha). O módulo de elasticidade,  $E$ , calculado pelo autor varia entre 16,9 GPa e 28 GPa. A tensão de tração,  $\sigma_t$ , foi calculada através do ensaio de compressão diametral e apresentou o valor médio de 3,73 MPa.

No trabalho de (C. M. R. Costa, 2002) foram retirados carotes de pedra da Ponte da Lagoncinha e analisados laboratorialmente. A ponte é composta por alvenaria de pedra granítica em que o módulo de elasticidade,  $E$ , corresponde aproximadamente a 20 GPa, a densidade,  $\gamma$ , a 25 kN/m<sup>3</sup>, o coeficiente de Poisson,  $\nu$ , a 0,2.

Assim sendo e com base nos estudos anteriores, decidiu-se adotar os valores ilustrados na Tabela 6.2 para a caracterização da alvenaria granítica da Ponte da Pedra.

Tabela 6.2 - Propriedades mecânicas dos blocos de granito

	<b>Blocos de Granito</b>
<b>E (GPa)</b>	20
<b><math>\nu</math></b>	0,2
<b>Y (kN/m<sup>3</sup>)</b>	25
<b>f<sub>c</sub> (MPa)</b>	10
<b>f<sub>t</sub> (MPa)</b>	1

**ENCHIMENTO – VALORES USADOS NA BIBLIOGRAFIA**

O enchimento da ponte, por não ser possível de observar, é um material completamente desconhecido. Através de uma observação grosseira da Figura 6.33 e do parecer prévio da Arrow 4D, pensa-se que o material de enchimento seja composto por materiais de várias granulometrias. Por se

encontrar numa região de abundância de granitos, faz sentido que o material seja também de génese granítica.

(C. M. R. Costa, 2002) assumiu as características do material de enchimento da Ponte D. Zameiro para caraterizar a Ponte da Lagoncinha, uma vez que o material extraído não foi suficiente para a caraterização. Este processo realizou-se com a premissa das estruturas possuírem características semelhantes e, conseqüentemente, poderem-se extrapolar os resultados. O material de enchimento ensaiado apresenta um módulo de elasticidade,  $E$ , de 2 GPa, uma densidade,  $\gamma$ , de 20 kN/m<sup>3</sup> e um coeficiente de Poisson de,  $\nu$ , de 0,2.

Além de não se conhecer o material da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela, o mesmo dificilmente será sondado por se tratar de uma estrutura classificada como Património Nacional. Desta forma, decidiu-se adotar os valores de (C. M. R. Costa, 2002) para definir as características mecânicas do enchimento. Em resumo, apresenta-se em seguida a Tabela 6.3

Tabela 6.3 - Propriedades mecânicas do enchimento

	<b>Enchimento</b>
<b>E (GPa)</b>	2
<b><math>\nu</math></b>	0,2
<b>Y (kN/m<sup>3</sup>)</b>	20

## 6.10. CARATERIZAÇÃO GEOMÉTRICA

O levantamento rigoroso da estrutura permitiu definir as dimensões necessárias para iniciar a modelação da mesma. Como foi referido no subcapítulo 6.6, a estrutura possui dimensões bastante regulares, à exceção da altura de enchimento existente sobre cada arco. Numa fase anterior, foram assumidas as alturas de enchimento da Tabela 6.1, elaborada por (Jesus, 2013). No entanto, ao observar os resultados do levantamento rigoroso verifica-se que estes não coincidem. Desta forma, apresentam-se na Figuras 6.34 e 6.35 as dimensões que serão utilizadas. Em anexo apresenta-se a planta, os alçados e um corte da Ponte combinados com ortofotografia.

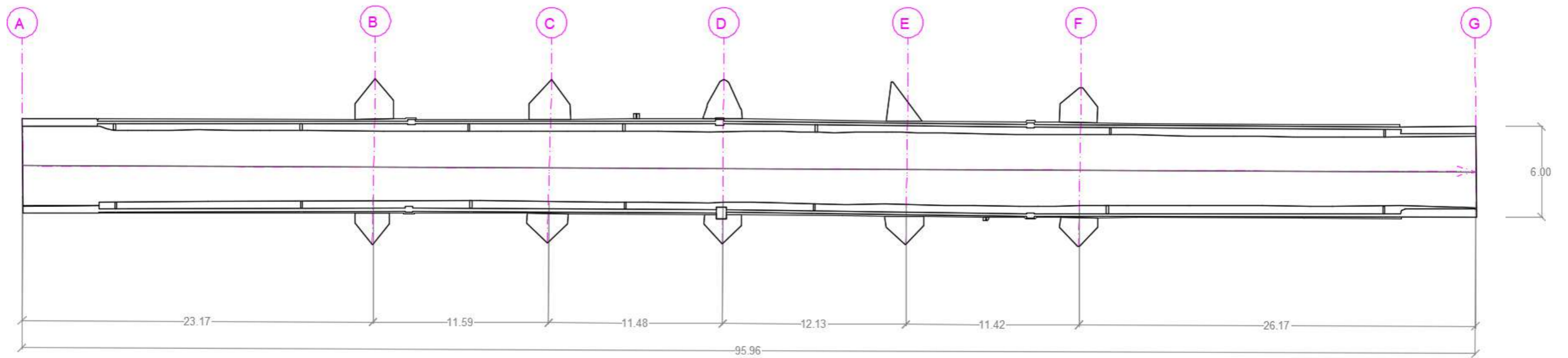


Figura 6.34 - Dimensões rigorosas da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela (planta)

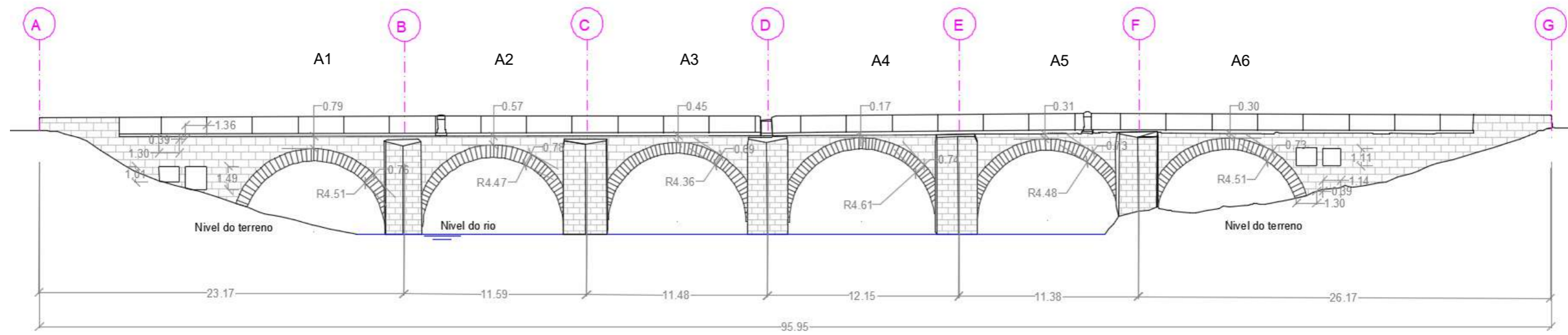


Figura 6.35 - Dimensões rigorosas da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela (alçado Sul)

## 6.11. EN 1991-2 EUROCÓDIGO 1 – AÇÕES EM ESTRUTURAS – CARGAS DE TRÁFEGO EM PONTES

O despacho Normativo nº 21/19, emitido pelo Gabinete do Secretário de Estado das Infraestruturas, aprova as condições para a utilização dos Eurocódigos Estruturais no projeto de estruturas e edifícios. Este despacho prevê um período de transição de três anos, o que significa que durante este período pode-se utilizar o Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA), aprovado pelo decreto-lei nº 235/83 e o Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (REBAP), aprovado pelo decreto-lei nº 349-C/83. Findado o período de transição, a legislação em vigor prevê a utilização somente dos Eurocódigos. É importante salientar que a EN 1991-2 (*Eurocode 1: Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges*, 2003) não é apresentada nos anexos do despacho Normativo nº 21/19. Porém, faz sentido analisar a Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela à luz das combinações de carga indicadas na norma EN 1991-2.

### 6.11.1. EN 1991-2 – DESCRIÇÃO

A norma EN 1991-2, aprovada a 28 de novembro de 2002, aborda o tema da segurança de pontes sujeitas a cargas produzidas por tráfego. O âmbito desta norma é definir modelos de carregamento associados ao tráfego rodoviário, pedonal e ferroviário, onde se incluem os efeitos dinâmicos e centrífugos, ações de travagem e aceleração que simulam situações acidentais. As cargas usadas pela norma foram pensadas para o dimensionamento de pontes novas, incluindo pontões, encontros, paredes e as respetivas fundações.

A seção 4 da norma EN 1991-2 trata o dimensionamento de pontes rodoviárias que possuem um comprimento inferior a 200 m sujeito ao carregamento. As classes de carga são afetadas por dois fatores de ajuste,  $\alpha$  e  $\beta$ , que representam variações que o tráfego pode tomar como: composição, densidade, condições de carga e influência de sinalização de limite de carga, quando aplicável.

A definição de faixa de rodagem  $w$  é, de uma forma simplificada, a distância entre os limites dos sistemas de proteção dos veículos, ou seja, no caso da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela, a distância entre as guardas. Em função de  $w$ , e com recurso à tabela 6.4, extraída da norma, obtém-se o número e a largura das faixas de carregamento.

Tabela 6.4 – Número e largura das faixas de carregamento (EN 1991-2)

Carriageway width $w$	Number of notional lanes	Width of a notional lane $w_l$	Width of the remaining area
$w < 5,4$ m	$n_l = 1$	3 m	$w - 3$ m
$5,4$ m $\leq w < 6$ m	$n_l = 2$	$\frac{w}{2}$	0
$6$ m $\leq w$	$n_l = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right)$	3 m	$w - 3 \times n_l$
NOTE For example, for a carriageway width equal to 11m, $n_l = \text{Int}\left(\frac{11}{3}\right) = 3$ , and the width of the remaining area is $11 - 3 \times 3 = 2$ m.			

A faixa de rodagem no caso da Ponte da Pedra mede 5,60 m, em que 0,40 m são bermas sem camada de betuminoso. Dado que a circulação se realiza de forma alternada, e que os automóveis realizam a travessia sensivelmente alinhados com o eixo da ponte, considera-se que  $w$  corresponde à parte com camada de asfalto, 5,20 m. Assim, de acordo com a Tabela 6.4 deve-se considerar uma única faixa de carregamento com 3 m de largura e com uma área remanescente de 2,20 m.

Após se dividir o tabuleiro em faixas de carregamento aplicam-se duas análises distintas que são em seguida explicitadas. A primeira é o caso de carga 1 (LM1) e de seguida o caso de carga 2 (LM2).

A filosofia de cálculo adotada consiste em verificar a segurança, utilizando valores característicos. Ou seja, as ações não são afetadas por coeficientes de majoração, nem as resistências por coeficientes de minoração.

### 6.11.2. LOAD MODEL 1 (LM1)

O caso de carga 1 consiste em dois sistemas parciais de carregamento. O primeiro sistema é uma carga concentrada aplicada por um duplo eixo, em que cada eixo corresponde a  $\alpha_Q Q_k$  e a superfície de contacto corresponde a quadrado com 0,40 m de lado. O segundo sistema corresponde a uma carga uniformemente distribuída com  $\alpha_q q_k$  por metro quadrado. Na área remanescente deve-se aplicar um carregamento de magnitude  $\alpha_{qr} q_{rk}$ . Este caso de carga cobre os efeitos provocados pela passagem de automóveis ligeiros e camiões.

Os valores dos fatores de ajuste,  $\alpha$ , podem variar entre 0,8 e 1 conforme o tipo de tráfego. Considera-se que 1 corresponde a tráfego industrial pesado e 0,8 para um tipo de tráfego mais comum. A Tabela 6.5 da EN 1991-2 apresenta a magnitude que se deve atribuir ao eixo duplo e à carga uniformemente distribuída em função da faixa de carregamento.

Ambos os sistemas de carga, duplo eixo e carga uniformemente distribuída devem ser aplicados em zonas que provoquem um carregamento desfavorável para a estrutura.

Tabela 6.5 – Caso de carga 1, valores característicos (EN 1991-2)

Location	Tandem system $TS$	$UDL$ system
	Axle loads $Q_{ik}$ (kN)	$q_{ik}$ (or $q_{ik}$ ) (kN/m <sup>2</sup> )
Lane Number 1	300	9
Lane Number 2	200	2,5
Lane Number 3	100	2,5
Other lanes	0	2,5
Remaining area ( $q_{ik}$ )	0	2,5

A norma utiliza o esquema ilustrativo da Figura 6.36 para explicitar como se deve aplicar a tabela anterior. Neste caso, a faixa de carregamento possui 3 m de largura à semelhança do que foi adotado para a Ponte da Pedra.

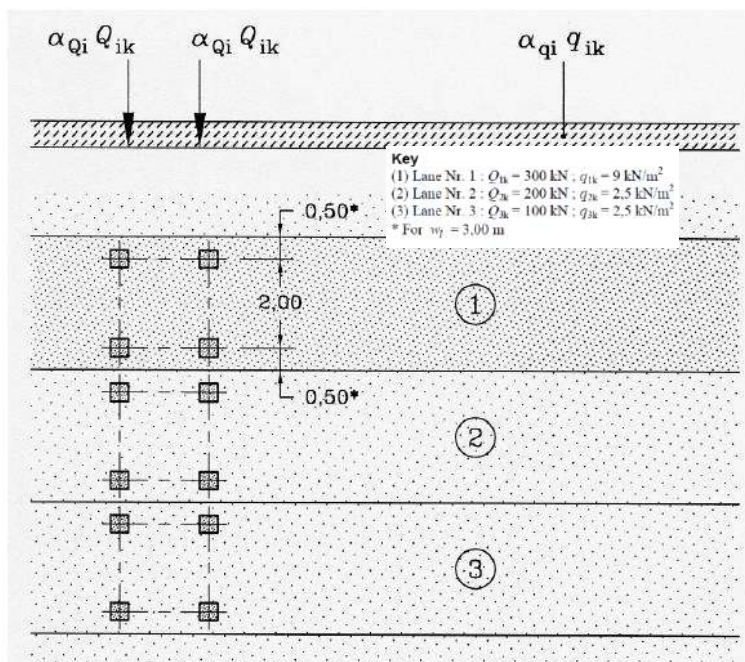
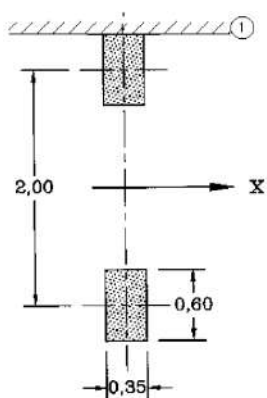


Figura 6.36 - Aplicação do Caso de carga 1 (EN 1991-2)

### 6.11.3. LOAD MODEL 2 (LM2)

O caso de carga 2 corresponde à aplicação de um único eixo de carregamento com  $\beta_Q Q_{ak}$  de magnitude, em que  $Q_{ak}$  corresponde a 400 kN, em qualquer zona do tabuleiro. O fator de ajuste  $\beta_Q$ , pode ser considerado igual a  $\alpha_{Q1}$  ou é definido pelo anexo nacional. A Figura 6.37, ilustra as superfícies dos rodados que devem ser considerados na aplicação do caso de carga 2.



Key  
X Bridge longitudinal axis direction  
1 Kerb

Figura 6.37 - Caso de carga 2 (EN 1991-2)

## 6.12. ANÁLISE PRELIMINAR – LIMIT STATE RING

A análise da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela inicia-se através da ferramenta de cálculo automático simplificado *Limit State RING*, com o propósito de obter o fator de segurança da ponte, em relação aos casos de carga contemplados na EN 1991-2.

De acordo com a secção 5.4.5 do manual do software, (LimitState Ltd, 2016), os muros de tímpano não são modelados e, conseqüentemente, não contribuem para a resistência da ponte. Esta simplificação pode ser tomada para pontes com uma largura considerável que tornem os tímpanos negligenciáveis para o estudo da seção da central. Uma anomalia comum nas pontes de arco de alvenaria, é o destacamento entre os tímpanos e a estrutura dos arcos, que pode ser verificada pela existência de fendas longitudinais nos limites dos arcos. A ponte em estudo apresenta, de forma generalizada, fendas longitudinais no limite dos arcos, o que sugere a anomalia enunciada anteriormente.

É também possível definir diferentes interações entre aduelas, baixando o coeficiente de atrito entre elas, de modo a espelhar ligações que se encontrem mais degradadas. O movimento dos apoios é também possível de modelar, sendo que nestas análises, em função do carregamento, o programa indica a energia associada para que o movimento de apoio ocorra.

### 6.12.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O software de cálculo automático *LimitState RING*, indicado para analisar arcos de alvenaria, é uma ferramenta capaz de fornecer um fator de carga que caracterize a estrutura, de forma expedita. (P. M. Q. M. da Costa, 2007) utilizou esta metodologia simplificada de verificação de segurança, aplicada ao caso de estudo da Ponte de Vila Fria (5 arcos de alvenaria), onde salientou a vantagem do programa considerar a interação entre arcos. Esta característica é pouco comum nas metodologias simplificadas de cálculo.

O *LimitState RING* foi calibrado para pontes com comprimentos entre os 20 e os 30 m e para estruturas cujo rácio vão/altura seja maior ou igual a 6. Além dos parâmetros geométricos anteriores, o software não prevê a ocorrência de mecanismos frágeis em zonas localizadas, o que pode por em causa a qualidade da solução (LimitState Ltd, 2016). Sendo que a Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela apresenta um comprimento total de 95,95 m, e um rácio vão/altura da ordem dos 2,7, sabe-se que a resposta do programa não terá a precisão desejada. No entanto, para iniciar o estudo da estrutura e ter uma noção da resistência do mecanismo de cargas longitudinal, o *LimitState RING* é uma ferramenta adequada.

### 6.12.2. LIMITAÇÕES DO SOFTWARE

Apesar do software ser uma ferramenta simples que orienta o utilizador até se alcançar a solução, existem algumas limitações a apontar:

- Não permite aplicar cargas distribuídas ao longo do tabuleiro;
- Os veículos tipo são colocados na ponte em concordância com o eixo da mesma, não podem ser movidos transversalmente à direção da mesma;
- Não é compatível com o método de análise usado pela norma EN 1991-2;
- Não permite criar geometrias complexas, nem importar ficheiros de outros programas como por exemplo, o Autocad.

### 6.12.3. CONFIGURAÇÃO DA PONTE

A configuração da ponte é bastante simples e intuitiva, onde se segue uma linha de definição de parâmetros sugerida pelo software. Em primeiro lugar, define-se a largura efetiva da ponte, as dimensões dos encontros, arcos, pilares e o perfil de enchimento. Em seguida, é possível atribuir coeficientes parciais que afetam as cargas e os materiais e define-se as características mecânicas da alvenaria, do enchimento e do pavimento. Por fim, são criados casos de carregamento e a ponte é calculada, apresentando o fator mínimo de adequabilidade. Este fator traduz-se pela quantidade de vezes que as cargas podem ser multiplicadas para causar a rotura da estrutura.

O tabuleiro da ponte é modelado com uma largura de 5,2 m, porque esta é a dimensão existente em ambos os encontros, que limita a entrada de veículos. Passando os encontros, o tabuleiro da ponte alarga até aos 5,6m. No entanto, devida a esta limitação nas entradas da ponte, assume-se como área os 5,2m de largura. Em seguida, modelou-se a geometria dos encontros, arcos, pilares e da camada de enchimento. Os encontros são modelados ignorando os descarregadores de cheia, por não haver esta possibilidade no programa. Ambos os encontros e os pilares são modelados com uma altura de 1,8 m. A largura dos Encontros Oeste e Este é de 12 e 16 m, respetivamente, e a largura dos pilares é de 2,5 m. Os arcos completam um vão de 8,95 m, apresentam uma altura a meio vão de 4 m e as aduelas possuem 0,75 m de espessura. O perfil de enchimento varia em concordância com os valores apresentados na Figura 6.35 e a camada de desgaste possui 0,2 m. Os fatores parciais aplicados às cargas e às resistências são iguais à unidade por se tratar de uma análise com valores característicos. As propriedades dos materiais estão em concordância com o subcapítulo 6.10 e com os parâmetros usados por (P. M. Q. M. da Costa, 2007), que não tinham ainda sido explicitados. A Tabela 6.6 apresenta um resumo das propriedades mecânicas de cada material.

Tabela 6.6 - Propriedades mecânicas consideradas na modelação com *LimitState RING*

	Alvenaria	Enchimento	Pavimento
<b>Peso volúmico (kN/m<sup>3</sup>)</b>	25	20	20
<b>Coefficiente de atrito</b>	0,7	-	-
<b>Tensão admissível de compressão (MPa)</b>	10	-	-
<b>Atrito arco/enchimento (rad)</b>	-	0,524	-
<b>Ângulo de degradação (rad)</b>	-	0,524	0,524
<b>Coefficiente de impulso passivo (kPa)</b>	-	0,5	-

Foram aplicados os cenários de carga previsto pelo caso de carga 1 (LM1) e pelo caso carga 2 (LM2) da norma (EN 1991-2). De acordo com a norma, prevê-se a utilização de uma única faixa de carregamento com 3 m de largura e a área restante com 2,2 m de largura.

O caso de carga 1 (LM1) consiste na aplicação de uma carga distribuída nas zonas onde a mesma é desfavorável e de uma carga concentrada com dois eixos. A carga distribuída é materializada através de cargas pontuais aplicadas de 0,5 em 0,5 m, produzidas por mono eixos com 16,25 kN, que atuam numa faixa de 3 m por 0,5 m carregada com 9 kN/m<sup>2</sup>, mais uma faixa de 2,2 m por 0,5 m carregada com 2,5 kN/m<sup>2</sup>. A carga concentrada é modelada com recurso a um veículo de dois eixos, em que cada eixo pesa 300 kN. Os fatores de ajuste são considerados iguais à unidade.

O caso de carga 2 (LM2) consiste na aplicação de um único eixo com 400 kN no ponto mais desfavorável possível. Mais uma vez, considera-se o fator de ajuste igual à unidade.

#### 6.12.4. CONFIGURAÇÃO DA CARGA E ANÁLISE DE RESULTADOS

Atualmente, o dimensionamento longitudinal de pontes utiliza a metodologia da linha de influência para determinar os esforços na estrutura para um dado comboio de cargas. Em estruturas regulares de betão armado ou aço, esta técnica é facilmente aplicável. No entanto, para estruturas de alvenaria em que as características estruturais vão-se alterando longitudinalmente, a determinação de uma linha de influência torna-se mais difícil. Assim, para determinar o pior cenário de carga, experimentaram-se várias configurações por tentativa e erro. A primeira iteração consistiu em posicionar uma carga a meio vão, a um terço de vão e ¼ de vão. Concluiu-se que o carregamento mais gravoso é provocado por uma carga a meio vão posicionada sobre o arco A5. A segunda iteração consistiu na aplicação de um carregamento distribuído ao longo de 5,5 metros alinhado com o centro do arco em causa. Mais uma vez o arco A5 apresentou o menor fator de adequabilidade. A terceira iteração consistiu na aplicação do carregamento distribuído em arcos consecutivos e de forma alternada (arco sim, arco não). Os resultados não se mostraram mais gravosos que o carregamento de um único arco.

Após realizar as iterações de carregamento enunciadas no parágrafo anterior, concluiu-se que o cenário mais gravoso, para o caso de carga 1 (LM1), corresponde ao carregamento do arco A5, como se ilustra na Figura 6.38. O carregamento corresponde à aplicação da carga distribuída (mono eixos), alinhada com o centro do arco, ao longo de 5,5 m e da carga concentrada (veículo duplo eixo) alinhada com o centro do arco. Para este modelo de carga (LM1) obteve-se um fator de adequabilidade igual a 21. A azul encontra-se representada a linha de impulsos e a vermelho as rótulas plásticas, bem como o mecanismo de colapso.



Figura 6.38 - Cenário de carga mais gravoso (LM1)

Para o caso de carga 2 (LM2), o cenário mais gravoso corresponde ao carregamento a meio vão do arco A5 com o eixo único de 400 kN. Este caso de carga encontra-se representado na Figura 6.39 onde se obteve um fator de adequabilidade de 23,7.



Figura 6.39 - Cenário de carga mais gravoso (LM2)

### 6.12.5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para ambos os casos de carga contemplam o colapso do mecanismo de carga longitudinal. Devido às incertezas existentes sobre as características mecânicas dos materiais, foram utilizados valores característicos para as ações. Os resultados do caso de carga 1 e 2 (LM1 e LM2) são bastante satisfatórios apresentando fatores de adequabilidade sensivelmente 20 vezes superiores às ações característicos. Significa isto que no caso LM1 o colapso é atingido multiplicando o carregamento enunciado acima por 21 e no caso LM2 por 23,7. Assim para o caso LM1 o colapso ocorre ao se aplicar uma carga distribuída de  $62 \text{ kN/m}^2$   $[(9,5+2,5) \times 21]$  e duas cargas concentradas de 6600 kN cada ( $300 \times 21$ ), nas posições consideradas. Para o caso LM2 o colapso corresponde à aplicação de uma carga concentrada de 9480 kN ( $400 \times 23,7$ ) na posição considerada. É possível verificar a segurança e adequabilidade da estrutura em relação do mecanismo longitudinal de cargas, uma vez que se consideraram que as propriedades mecânicas dos materiais são conservativas e os fatores de adequabilidade apresentam-se elevados.

Apesar do carregamento poder atingir valores bastante elevados, é importante frisar que estes se aplicam a um mecanismo de colapso longitudinal. Provavelmente, o Estado Limite Último corresponde ao mecanismo Transversal de cargas. De acordo com as deformações existentes nos tímpanos e com a descompressão lateral nos arcos, pensa-se que a rotura transversal ocorrerá em primeiro lugar, para um valor de carga inferior ao valor avaliado neste ponto. No entanto com recurso a esta ferramenta numérica não é possível a análise da estrutura na direção transversal. Com esta análise verifica-se a segurança do mecanismo longitudinal de cargas.

## **6.13. MODELAÇÃO NUMÉRICA – ABAQUS CAE**

### **6.13.1. INTRODUÇÃO**

Neste subcapítulo pretende-se apresentar duas simulações numéricas realizadas da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela para determinar as tensões instaladas na estrutura e compreender as deformações identificadas através da inspeção e do levantamento rigoroso já apresentado. Para tal, recorreu-se ao programa de cálculo automático *ABAQUS/CAE*, uma vez que este foi utilizado com sucesso por outros autores na investigação de pontes de alvenaria de pedra.

O *ABAQUS/CAE* é um software de cálculo automático que utiliza o método dos elementos finitos para analisar problemas reais em engenharia. Foi criado em 1978 por David Hibbitt, Bengt Karlsson, e Paul Sorensen e posteriormente foi adquirido pela Dassault Systèmes em 2005. A modelação de um problema divide-se em três fases sequenciais: Pré processamento, avaliação/simulação e pós processamento onde se observam os resultados. O processo de cálculo pode ser realizado através de integração implícita ou explícita. Além disto, o *ABAQUS* possui dois ambientes dedicados a problemas de dinâmica de fluidos e eletromagnetismo que não são relevantes neste trabalho.

As investigações de pontes em arco de alvenaria, realizadas através do *ABAQUS/CAE*, procuram na maioria dos casos o cálculo da carga de colapso da estrutura. Nestas simulações são conhecidas em detalhe as leis constitutivas dos materiais e das interfaces dos mesmos, assim como as condições equilíbrio e de compatibilidade. As modelações são implementadas com complexas leis, que reproduzem o comportamento não linear da alvenaria, juntas e enchimento. Importa sublinhar que nem todos os materiais são modelados com comportamento não linear, apenas se for relevante para o modelo em estudo. Nesta vertente de investigação destacam-se os trabalhos de (Bień & Kamiński, 2006), (Kamiński, 2007), (Kamiński, 2010), na modelação de pontes de alvenaria, recorrendo à micro e meso modelação dos arcos com unidades de alvenaria elásticas interligadas por juntas argamassadas não lineares. As juntas argamassadas possuem um comportamento plástico semelhante ao do betão com amolecimento e o enchimento é modelado através do modelo constitutivo de Drucker-Prager. (Bień & Kamiński, 2006) inicia a investigação de pontes de alvenaria com um modelo em duas dimensões (2D) onde altera os elementos finitos que compõem o arco, de modo a representar a degradação das aduelas, a existência de fraturas longitudinais e perdas de

material. A degradação das aduelas é modelada com elementos finitos de menor resistência à compressão e tração acompanhados de juntas de argamassa com menor módulo de elasticidade. As fraturas longitudinais foram modeladas reduzindo a espessura dos elementos finitos que simulam as aduelas e as perdas de material foram modeladas com a remoção de elementos finitos. A Figura 6.40 apresenta um esquema da estratégia de modelação dos autores.

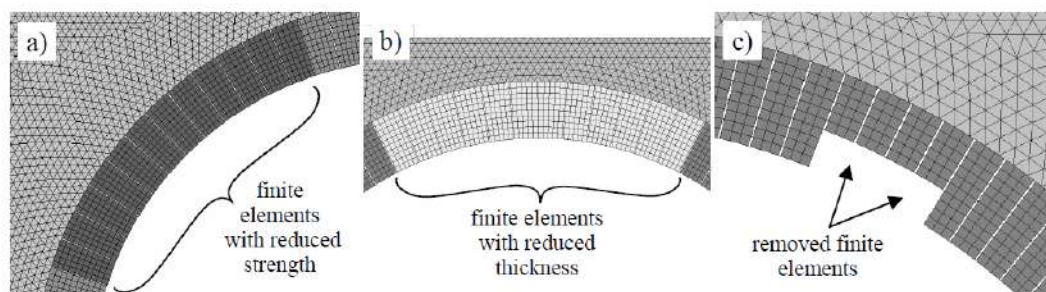


Figura 6.40 - Modelação de danos no modelo de elementos finitos (Bień & Kamiński, 2006)

As investigações que se seguiram representam o arco em três dimensões (3D) uma vez que os modelos em duas dimensões não consideram os efeitos transversais na estrutura. (Kamiński, 2007) compara os resultados obtidos em modelos da mesma estrutura, de duas e de três dimensões onde observa que o modelo 2D apresenta uma carga última ligeiramente superior quando comparado com os modelos 3D. O autor conclui que os modelos 3D elaborados são úteis para calibrar o modelo 2D, mais simples, apresentados em 2006.

A representação de modelos em 3D pode ser economizada através da simulação de apenas meio arco ao longo de um plano de simetria longitudinal. Numa investigação de grande escala, (Kamiński, 2010) procurou modelar um conjunto de estruturas de escala reduzida e pontes reais, populares na bibliografia do tema e ensaiadas até ao colapso. O autor modelou as pontes de Bridgemill, Prestwood, Shinafoot, cujo colapso se deu no arco, e obteve resultados muito próximos dos reais com erros a rondar os 3,3 e o 6,2%. A ponte de Torksey apresentou um erro de 31,4% por não se conhecerem os seus materiais com exatidão e a ponte de Strathmashie apresentou um erro de 34,5% por o colapso estar relacionado com as paredes de tímpano e não com o arco.

O trabalho de (C. Costa & Kamiński, 2016) compara a solução fornecida por diferentes métodos de modelação no estudo da ponte de São Lázaro. Os materiais foram plenamente caracterizados através de ensaios laboratoriais de material proveniente da própria ponte e de outras pontes que remontam ao período medieval. Foram implementadas quatro modelos 2D em quatro softwares diferentes: modelo descontínuo de elementos finitos no CAST3M; modelo contínuo de elementos finitos no ABAQUS, modelo de elementos discretos no UDEC, e um modelo de análise limite no RING. No modelo descontínuo é adotada uma técnica de micro modelação onde os arcos e o pavimento são modelados pedra a pedra e os elementos de junta são modelados com espessura nula onde é usado o critério de rotura Mohr-Coulomb. No modelo contínuo as juntas são modeladas com elementos sólidos de 7 mm de espessura com um critério de rotura que simula a plasticidade e o dano do betão. Em ambos os modelos o enchimento foi modelado com o critério de rotura de

Drucker-Prager. Os modelos apresentaram grande discrepância nos resultados das tensões e deformações, no entanto possuem um grau de compatibilidade satisfatório tendo em conta os modelos constitutivos usados. As rótulas plásticas apresentaram-se em concordância em todos os modelos.

A formulação de um modelo não linear pressupõe a aquisição de dados que caracterizem as leis constitutivas dos materiais bem como a geometria da estrutura de forma plena. (Helmerich et al., 2012) executaram a modelação de uma ponte ferroviária com a metodologia usada por (Bieñ & Kamiński, 2006) e (Kamiński, 2007). O arco é modelado com a técnica de meso modelação que consiste na homogeneização da alvenaria em blocos ortotrópicos com comportamento não linear e as juntas são modeladas com segmentos isotrópicos que seguem um modelo de dano frágil. O enchimento é modelado com recurso ao critério de rotura de Drucker-Prager. Realizaram ensaios não destrutivos com georadar de 500 Hz, 900 Hz e 1,5 GHz, condutividade elétrica e termografia e ensaios semi-destrutivos com a extração de carotes de alvenaria do arco e do enchimento, que permitiram conhecer os materiais e a geometria. A somar aos ensaios, realizaram-se medições de deslocamentos do arco com LVDT, laser e radar de microondas a meio vão e um quarto de vão para um carregamento conhecido, de modo a calibrar o modelo numérico. O carregamento foi aplicado com recurso a uma locomotiva motor tipo, de forma estática e dinâmica.

Além da vertente de modelação enunciada anteriormente, existe outra vertente onde os materiais são modelados como sendo elásticos, isotrópicos e homogêneos com o propósito de determinar as causas das anomalias presentes nas estruturas em estudo. Esta vertente permite analisar estruturas complexas quando não se conhece os modelos constitutivos que regem a resposta da ponte.

(Lubowiecka, Arias, Riveiro, & Solla, 2011) propõem um modelo para a avaliação de pontes de alvenaria com geometria complexa, que se baseia na utilização de fotogrametria e de georadar para a elaboração e análise de um modelo de elementos finitos. A ponte em estudo corresponde à Ponte de Cernadela que se localiza na Galiza. Os arcos, o enchimento e os muros de tímpano foram modelados como materiais elásticos, lineares e isotrópicos. As cargas foram aplicadas em três fases, sendo que na primeira se aplicou o peso próprio da estrutura, na segunda uma carga distribuída de 3 kN/m<sup>2</sup> e por fim uma carga concentrada de 60 kN que simula um camião sobre o arco mais frágil. Com isto é feita uma análise de sensibilidade, onde se observam os esforços na estrutura para a ocorrência de um assentamento de apoio entre os arcos número quatro e cinco, por se achar que esta é a causa dos danos estruturais existentes. O valor do assentamento variou entre 0,005 m e 0,035 m. Conclui-se que as fendas presentes na estrutura se devem ao assentamento de apoio e ao tráfego intenso. O assentamento altera os esforços em toda a estrutura enquanto que o tráfego introduz momentos prejudiciais aos arcos.

A ponte de Pont-Y-Prydd, localizada no País de Gales, apenas foi bem sucedida à terceira tentativa de construção (Nichols, 2017). A primeira ponte colapsou devido uma cheia, a segunda ruiu assim que se removeram os cimbres e atualmente existe uma terceira ponte, que consiste numa adaptação de design da segunda. De modo a compreender o motivo do colapso, o autor procurou modelar a

segunda ponte através de um modelo de elementos finitos elástico e linear. Com isto, foi identificado que o centro do arco era demasiado esbelto e leve em comparação com o arranque do mesmo, o que propiciava a rotação dos arranques e subida do centro até ao colapso. (Nichols, 2017) verificou que o arco era capaz de resistir ao seu próprio. Ao acrescentar os muros de tímpano e o enchimento verificou a ocorrência de um mecanismo de deformação, onde o centro do arco subia enquanto os arranques do mesmo rodavam. O centro do arco não possui secção suficiente para acomodar os impulsos horizontais, sendo que a solução adotada foi o aligeiramento da estrutura, preservando a sua geometria inicial. Tal como (Nichols, 2017), Edwards, o construtor da ponte, concluiu que deveria aligeirar os arranques tornando a distribuição de carga mais uniforme e reduzindo o peso total da estrutura de 7500 ton para 4000 ton. A nova estrutura foi construída e mantém-se de pé há mais de 250 anos.

A modelação de pontes de alvenaria dedica grande atenção ao estudo de pontes mono arco em que se espera que o colapso esteja associado ao mecanismo de carga longitudinal, ou seja, espera-se que o colapso ocorra devido à rotura do arco. A ponte da Pedra sobre o Rio Tuela possui arcos com uma espessura razoável (0,75 m) que se desenvolvem com uma largura de 6 m. Além disto a passagem de automóveis é feita à vez, o que contribui para que a sobrecarga da estrutura seja a menor possível. Através da análise feita no *LimitState RING* concluiu-se que o mecanismo de carga longitudinal apresenta um fator de adequabilidade da ordem dos 20. Desta forma, e através do inspeção e levantamento da estrutura, espera-se que a maior fonte de incerteza esteja relacionada com o mecanismo transversal de cargas.

Tendo como base as duas vertentes de modelação presentes na bibliografia e o baixo conhecimento das propriedades mecânicas dos materiais da Ponte da Pedra, faz sentido modelar a estrutura como corpos elásticos lineares usando valores de referência. A modelação pretende conhecer os esforços na estrutura e diagnosticar as causas das anomalias já verificadas. No subcapítulo 6.7 foram apresentadas todas as anomalias observadas na ponte. Algumas são fáceis de associar às ações que as provocam, enquanto que outras necessitam de uma análise mais cuidadosa. Por exemplo, a erosão da alvenaria que se encontra emersa ou submersa é facilmente atribuída ao escoamento do rio. As infiltrações de água ocorrem porque o tabuleiro foi impermeabilizado pela última vez há cerca de 40 anos e a vegetação que cobre a estrutura deve-se à carência de limpeza.

Desta forma, foram elaborados dois modelos com o intuito de analisar as tensões médias instaladas na estrutura e descobrir a causa das deformações que se desenvolvem, especialmente, nos muros de tímpano do Encontro Oeste e as fendas longitudinais nos arcos A1, A3 e A4.

### 6.13.2. MODELO 1 – MACRO MODELAÇÃO DA ESTRUTURA COMPLETA

O primeiro modelo de estudo da Ponte da Pedra consiste numa macro modelação onde se dividiram os elementos estruturais em arcos, enchimento, muros de tímpano e pavimento. Com esta modelação pretende-se determinar as tensões instaladas nos arcos e aferir a segurança do mecanismo longitudinal de cargas, quando submetido ao peso próprio da estrutura, sobrecargas e um hipotético assentamento de apoio.

Neste modelo é estudada a influência da sobrecarga na alteração do estado de tensões e dos deslocamentos verticais ao longo da estrutura. São utilizados os dois casos de carga (LM1 e LM2) expostos no subcapítulo 6.12. É também estudada a influência de um assentamento de apoio vertical no pilar P3 nas tensões da estrutura.

#### GEOMETRIA

A geometria da estrutura é modelada à imagem do levantamento rigoroso executado pela Arrow 4D. Na Figura 6.41 apresenta-se a assemblagem dos elementos estruturais enunciados anteriormente. Os perfis dos arcos foram desenhados individualmente a partir dos alçados rigorosos e extrudidos na direção de Z por 6 m. Os muros de tímpano foram modelados da mesma forma e assumiu-se uma espessura de 0,5 m, por não se conhecer a verdadeira espessura dos mesmos. O enchimento possui a mesma geometria em perfil que os muros de tímpano e desenvolve-se ao longo de 5 m. O pavimento foi modelado da mesma forma, cobre o enchimento e possui 0,20 m de altura

Os pilares foram omitidos por não se observarem anomalias nos mesmos e tornar o modelo numérico mais simples. Os quebra mares também foram omitidos por se considerar que estes não estão solidarizados ao corpo da ponte e por terem um carácter favorável ao equilíbrio dos muros de tímpano, uma vez que os estabilizam contra deformações segundo Z.

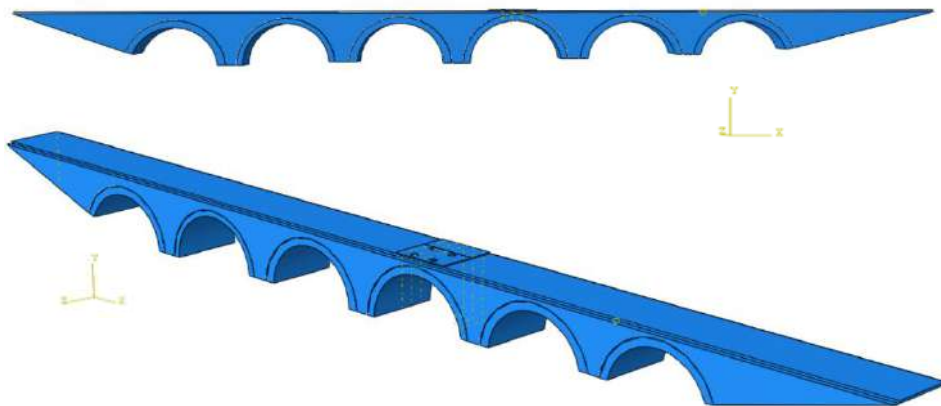


Figura 6.41 - Geometria do Modelo 1

### COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS E INTERAÇÕES

Para definir os arcos e os muros de tímpano foi criado o material alvenaria com peso volúmico  $\gamma$  igual a 25 kN/m<sup>3</sup>, módulo de elasticidade  $E$  igual a 2 GPa e coeficiente de Poisson  $\nu$  igual a 0,2. O enchimento e o pavimento são modelados através de um material com peso volúmico  $\gamma$  igual a 20 kN/m<sup>3</sup>, módulo de elasticidade  $E$  igual a 1 GPa e coeficiente de Poisson  $\nu$  igual a 0,3.

A interação entre os quatro elementos estruturais foi modelada através de uma condição de “Hard contact”, que impede que os elementos ocupem o mesmo espaço e por uma condição tangencial com um coeficiente de atrito igual a 0,6.

### CONDIÇÕES DE FRONTEIRA, CARREGAMENTO E AÇÕES

Todos os elementos estruturais são encastrados nas faces inferiores e oblíquas, impedindo qualquer deslocamento ou rotação. A ponte é submetida individualmente a um aumento das sobrecargas e à influência de um assentamento de apoio crescente no pilar P3. O carregamento é feito como previsto na norma EN 1991-2, através dos modelos LM1 e LM2 e posteriormente é aplicado o dobro da carga para se observar a situação hipotética, da presença de dois conjuntos de cargas LM1 ou LM2. O assentamento de apoio é estudado para valores de 0,01 e 0,02 m.

### MALHA DE ELEMENTOS FINITOS ESTUDO DE CONVERGÊNCIA

O ABAQUS fornece três tipos de elementos finitos para modelar problemas em 3D. São eles os elementos hexaédricos “HEX”, os elementos prismas triangulares “WEDGE” e os elementos Tetraédricos “TET”. Todos os elementos podem tomar uma forma linear ou quadrática em função do refinamento pretendido, o que traduz num aumento do número de nós. Assim os elementos “HEX” podem tomar uma configuração com 8 ou 20 nós, designados por “C3D8R” e “C3D20R” respetivamente. Os elementos “WEDGE” podem apresentar 6 ou 15 nós, “C3D6” ou “C3D15”. Por fim os elementos “TET” podem ter 4 ou 10 nós, “C3D4” ou “C3D10”.

Os arcos foram modelados com elementos finitos do tipo “HEX” e os muros de tímpano e enchimento com elementos do tipo “WEDGE”. Escolheram-se estes elementos por serem aqueles que melhor se adaptam a cada macro elemento. Uma vez que neste modelo se pretende estudar o comportamento dos arcos, o refinamento foi feito até se atingir a estabilidade desejada no cálculo de tensões e deslocamento nos arcos. A Figura 6.42 e a Figura 6.43 ilustram o estudo de convergência feito em tensões e deslocamento respetivamente. Ambos os gráficos apresentam um conjunto de pontos ao longo do extradorso do arco A1 e traduzem, em função da distância, as tensões mínimas de compressão e o deslocamento vertical. O refinamento inicial foi do tipo  $h$  (aumentar o número de elementos finitos) até uma malha de 0,3 m. De seguida foi experimentado um refinamento do tipo  $p$

(enriquecimento da malha) e observou-se que os elementos quadráticos convergem mais cedo, não necessitando de reduzir muito as suas dimensões. Assim para os arcos adotaram-se elementos do tipo “C3D20R” com 0,5 m de largura, para o enchimento e tímpanos adotaram-se elementos “C3D6”.

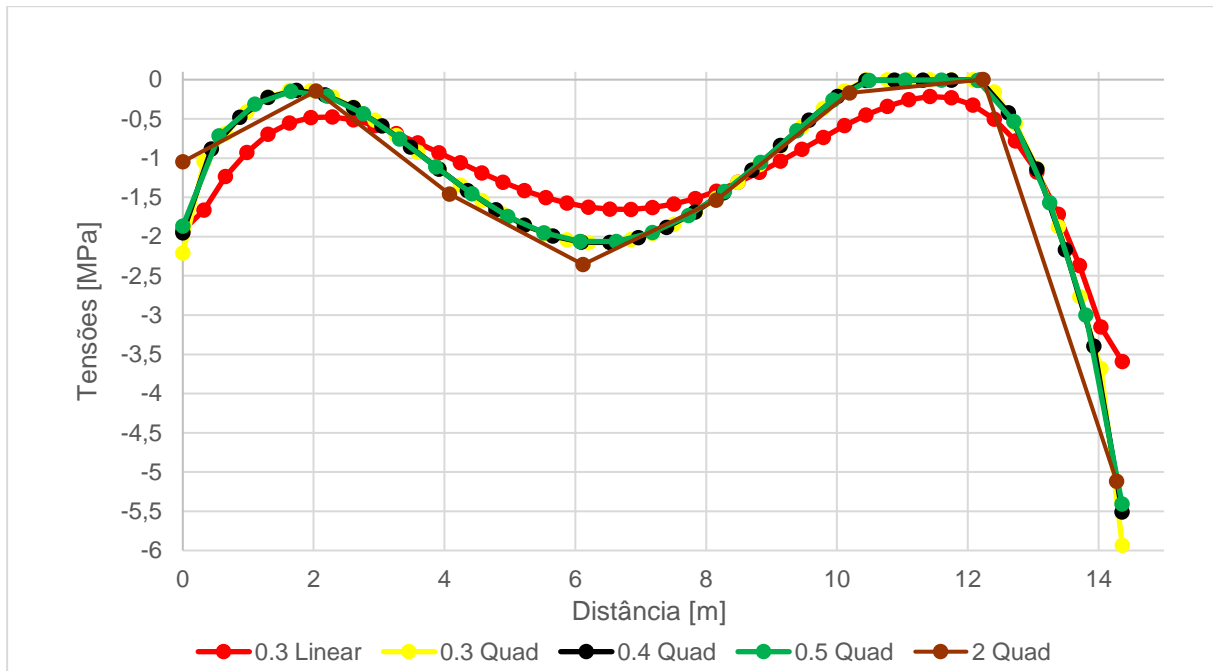


Figura 6.42 - Gráfico de tensões mínimas no extradorso do arco A1

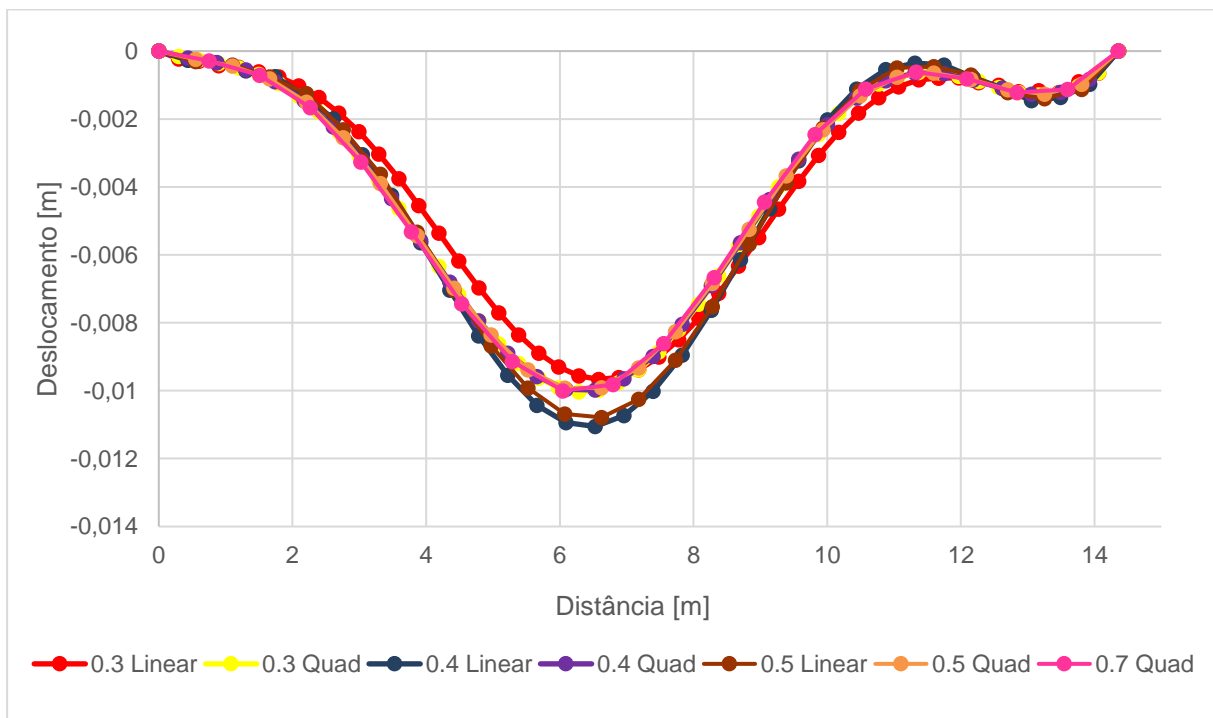


Figura 6.43 - Gráfico de deslocamentos verticais no extradorso do arco A1

O enchimento e os muros de tímpano foram divididos em elementos C3D6 e o pavimento em elementos C3D8. Na Figura 6.44 apresenta-se a malha de elementos finitos descrita.

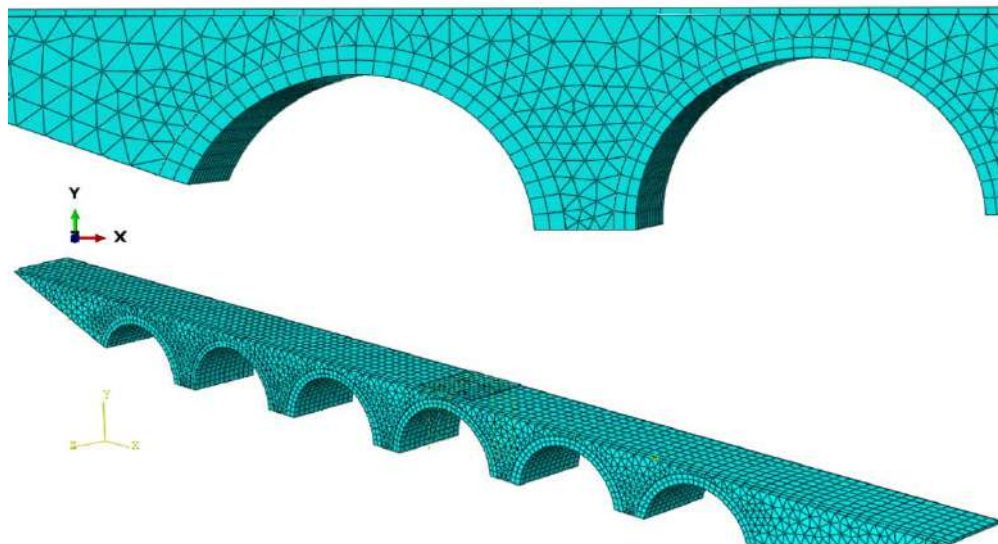


Figura 6.44 - Malha de elementos finitos do Modelo 1

### ANÁLISE DO MODELO

Este modelo é composto por 202644 graus de liberdade e cada simulação demorou aproximadamente 40 minutos para realizar uma análise. Como foi referido anteriormente, com este modelo pretende-se realizar um estudo de sensibilidade, onde se apura o estado de tensões da estrutura e os deslocamentos no topo do enchimento e nos arcos, devido à carga permanente e à sobrecarga prevista na norma EN 1991-2.

No subcapítulo 6.13. apurou-se, com recurso ao *LimitState RING*, que o carregamento mais gravoso corresponde à aplicação da carga permanente e da sobrecarga LM1 no arco A5. No entanto, o fator de adequabilidade obtido para este caso é muito próximo do fator obtido noutros arcos, variando apenas algumas décimas. Com isto decidiu-se simular diversos cenários onde a carga permanente foi combinada com a sobrecarga LM1 e LM2 em cada vão e ainda um cenário onde o arco A4 é carregado com LM1 e ocorre um assentamento de apoio de 2 cm no pilar P3. Os resultados apresentam-se nas tabelas 6.7 e 6.8, onde se observa que as tensões mínimas e máximas ocorrem quase sempre no arco A1, independentemente da posição da sobrecarga. Isto confirma o fato da sobrecarga ser de tal forma reduzida, em comparação com a carga permanente, que não provoca acréscimos de tensão significativos. Observam-se tensões mínimas de compressão até aproximadamente 7 MPa e máximas de tração até 0,47 MPa, no cenário em que ocorre o assentamento de apoio do pilar P3 em conjunto com o carregamento do arco A4.

Tabela 6.7 - Tensões mínimas de compressão e máximas de tração nos arcos quando submetidos à carga permanente (CP) e sobrecarga (LM1)

	$\sigma_{min}$ [MPa]	$\sigma_{max}$ [MPa]	Distribuição de tensões mínimas (S, Min. Principal)	Distribuição de tensões máximas (S, Max. Principal)	Escalas
CP	-6,896	0,4514	<p>Max: -1.439e+005 Min: -6.896e+006</p>	<p>Max: +4.514e+005 Min: -9.977e+005</p>	<p>S, Min. Principal (Avg: 75%)</p> <p>-8.000e+04 -4.644e+05 -8.489e+05 -1.233e+06 -1.618e+06 -2.002e+06 -2.387e+06 -2.771e+06 -3.156e+06 -3.540e+06 -3.924e+06 -4.309e+06 -4.693e+06 -5.078e+06 -5.462e+06 -5.847e+06 -6.231e+06 -6.616e+06 -7.000e+06</p>
CP + LM1 Arco A1	-6,975	0,4870	<p>Max: -9.542e+004 Min: -6.975e+006</p>	<p>Max: +4.870e+005 Min: -9.933e+005</p>	
CP + LM1 Arco A2	-6,920	0,4737	<p>Max: -1.495e+005 Min: -6.920e+006</p>	<p>Max: +4.737e+005 Min: -1.012e+006</p>	
CP + LM1 Arco A3	-6,881	0,4491	<p>Max: -1.579e+005 Min: -6.881e+006</p>	<p>Max: +4.491e+005 Min: -1.006e+006</p>	
CP + LM1 Arco A4	-6,900	0,4520	<p>Max: -1.444e+005 Min: -6.900e+006</p>	<p>Max: +4.520e+005 Min: -9.981e+005</p>	
CP + LM1 Arco A5	-6,908	0,4521	<p>Max: -1.398e+005 Min: -6.908e+006</p>	<p>Max: +4.521e+005 Min: -9.960e+005</p>	
CP + LM1 Arco A6	-6,899	0,4514	<p>Max: -1.430e+005 Min: -6.899e+006</p>	<p>Max: +4.514e+005 Min: -9.976e+005</p>	
CP + LM1 Arco A4 + Assentamento de apoio	-6,972	0,4588	<p>Max: -1.055e+005 Min: -6.972e+006</p>	<p>Max: +4.588e+005 Min: -9.749e+005</p>	

Tabela 6.8 - Tensões mínimas de compressão e máximas de tração nos arcos quando submetidos à carga permanente (CP) e sobrecarga (LM2)

	$\sigma_{min}$ [MPa]	$\sigma_{max}$ [MPa]	Distribuição de tensões mínimas (S, Min. Principal)	Distribuição de tensões máximas (S, Max. Principal)	Escalas
CP	-6,896	0,4514	<p>Max: -1.439e+05 Min: -6.896e+006</p>	<p>Max: +4.514e+005 Min: -9.977e+005</p>	<p>S, Min. Principal (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-8.000e+04</li> <li>-4.644e+05</li> <li>-8.489e+05</li> <li>-1.233e+06</li> <li>-1.618e+06</li> <li>-2.002e+06</li> <li>-2.387e+06</li> <li>-2.771e+06</li> <li>-3.156e+06</li> <li>-3.540e+06</li> <li>-3.924e+06</li> <li>-4.309e+06</li> <li>-4.693e+06</li> <li>-5.078e+06</li> <li>-5.462e+06</li> <li>-5.847e+06</li> <li>-6.231e+06</li> <li>-6.616e+06</li> <li>-7.000e+06</li> </ul>
CP + LM2 Arco A1	-6,928	0,4699	<p>Max: -9.708e+004 Min: -6.928e+006</p>	<p>Max: +4.699e+005 Min: -9.971e+005</p>	
CP + LM2 Arco A2	-6,899	0,4679	<p>Max: -1.435e+005 Min: -6.899e+006</p>	<p>Max: +4.679e+005 Min: -1.004e+006</p>	
CP + LM2 Arco A3	-6,895	0,4511	<p>Max: -1.455e+005 Min: -6.895e+006</p>	<p>Max: +4.511e+005 Min: -9.995e+005</p>	
CP + LM2 Arco A4	-6,896	0,4514	<p>Max: -1.443e+005 Min: -6.896e+006</p>	<p>Max: +4.514e+005 Min: -9.980e+005</p>	
CP + LM2 Arco A5	-6,898	0,4515	<p>Max: -1.435e+005 Min: -6.898e+006</p>	<p>Max: +4.515e+005 Min: -9.976e+005</p>	
CP + LM2 Arco A6	-6,897	0,4514	<p>Max: -1.436e+005 Min: -6.897e+006</p>	<p>Max: +4.514e+005 Min: -9.976e+005</p>	<p>S, Max. Principal (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+5.000e+05</li> <li>+4.167e+05</li> <li>+3.333e+05</li> <li>+2.500e+05</li> <li>+1.667e+05</li> <li>+8.333e+04</li> <li>-4.688e-02</li> <li>-8.333e+04</li> <li>-1.667e+05</li> <li>-2.500e+05</li> <li>-3.333e+05</li> <li>-4.167e+05</li> <li>-5.000e+05</li> <li>-5.833e+05</li> <li>-6.667e+05</li> <li>-7.500e+05</li> <li>-8.333e+05</li> <li>-9.167e+05</li> <li>-1.000e+06</li> </ul>
CP + LM2 Arco A4 + Assentamento de apoio	-6,969	0,4582	<p>Max: -1.051e+005 Min: -6.969e+006</p>	<p>Max: +4.582e+005 Min: -9.745e+005</p>	

Com as simulações anteriores, verifica-se que o carregamento do arco A4 em conjunto com o assentamento do pilar P3 provoca as tensões mais desfavoráveis na estrutura. Desta forma a análise que se segue foi dividida em dois cenários, de modo a compreender a influência da sobrecarga e do assentamento do pilar P3. No primeiro cenário é aplicada a carga permanente e as sobrecargas LM1 e LM2 e posteriormente o dobro do carregamento previsto pelo LM1 e LM2. No segundo cenário é considerado o assentamento vertical do pilar P3 de 0,01 m e 0,02 m ao mesmo tempo que atua a carga permanente e se aplica LM1 sobre o arco A4.

Em seguida, apresenta-se o resultado das tensões mínimas principais nos arcos e no alçado Sul da ponte quando a estrutura está sujeita ao seu peso próprio, Figura 6.45 e Figura 6.46. Como seria de esperar os arcos apresentam maiores tensões de compressão e estas variam entre os 0,15 e 7 MPa. A base dos tímpanos apresenta valores a rondar os 7 MPa e à medida que se sobe as tensões baixam, atingindo o seu valor mais baixo no intradorso.

Admitiu-se um valor de tensão de compressão resistente de 10 MPa que revela ter folga suficiente para acomodar o peso próprio da estrutura. Este valor é conservativo, uma vez que na bibliografia corresponde a granitos de fraca resistência à compressão. Em relação às tensões máximas principais observam-se valores nos arcos inferiores a 1 MPa, que era o limite máximo estabelecido.

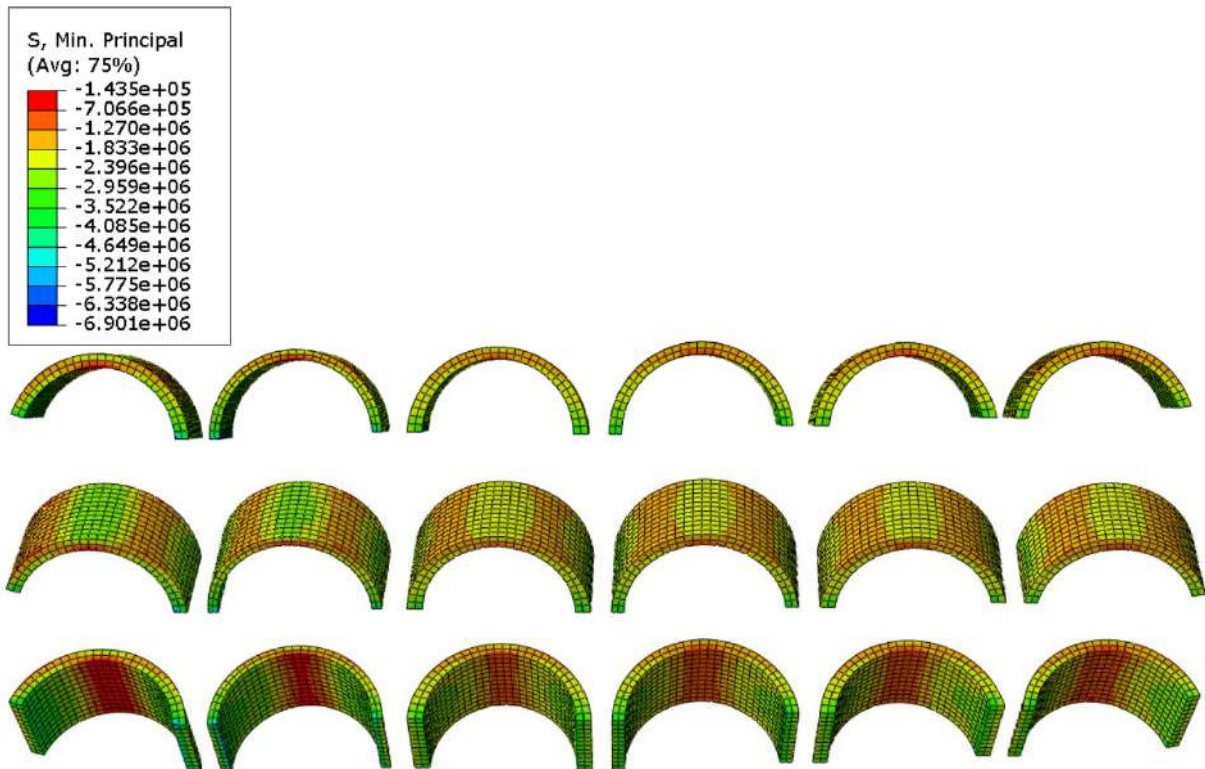


Figura 6.45 - Tensões mínimas nos arcos sujeitos ao peso próprio da estrutura

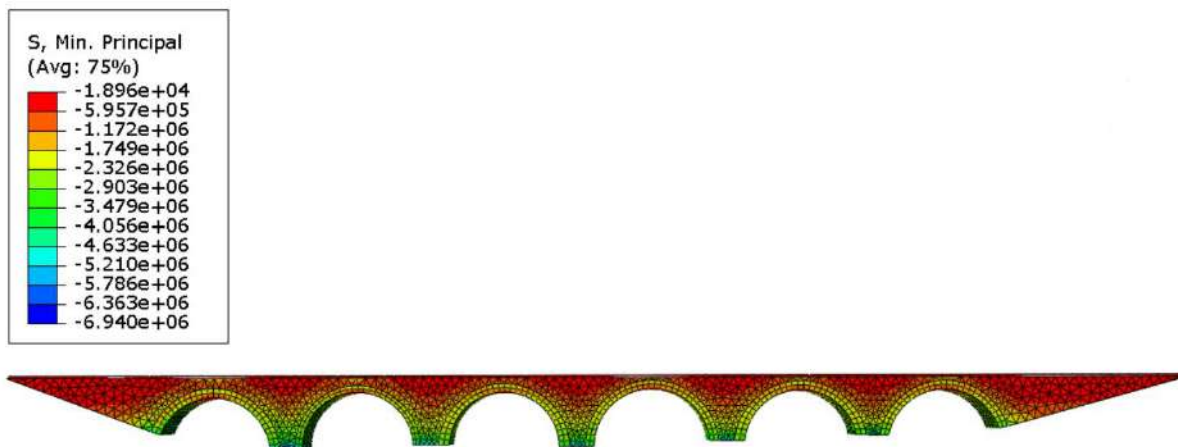


Figura 6.46 - Tensões mínimas na estrutura sujeita ao seu peso próprio

As deformadas dos arcos são apresentadas na Figura 6.47 e Figura 6.48. A primeira figura apresenta a deformada quando a estrutura é sujeita ao seu peso próprio e sobrecarga ao nível do pavimento, enquanto que a segunda apresenta a estrutura sujeita ao seu peso próprio e ao deslocamento vertical no pilar P3. Em ambos os casos os arcos deformam-se à semelhança do mecanismo de 5 rótulas ilustrado na Figura 4.1.

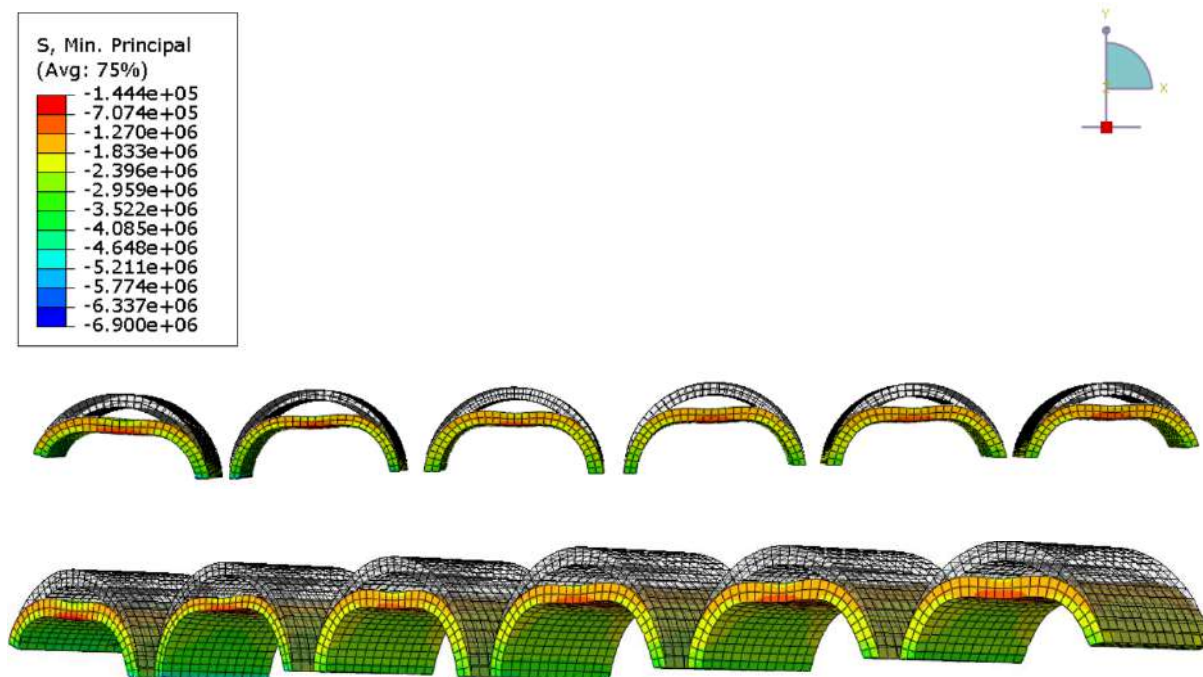


Figura 6.47 - Deformação nos arcos devido ao peso próprio e sobrecarga

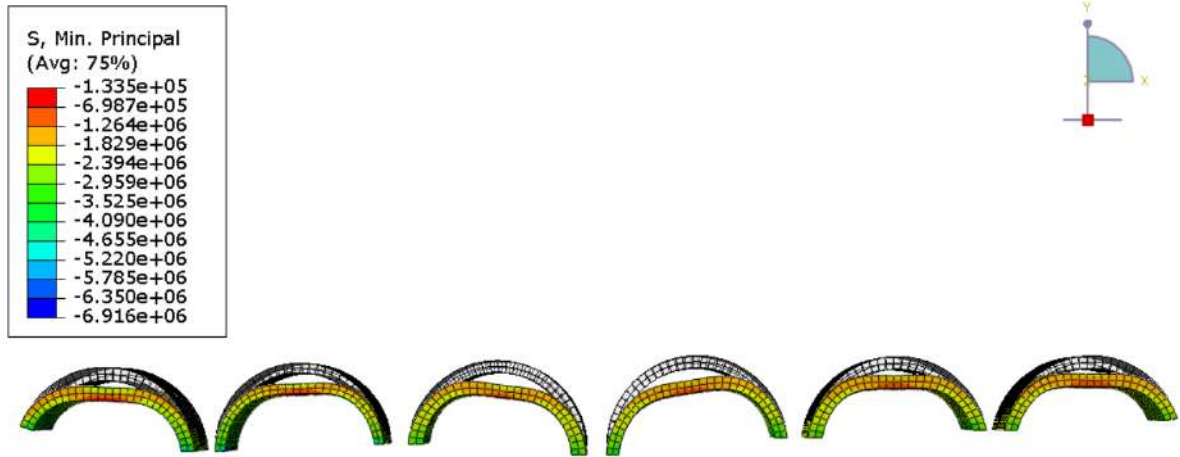


Figura 6.48 - Deformação nos arcos devido ao peso próprio e assentamento do pilar P3

Em seguida, apresentam-se os gráficos resultantes da análise de sensibilidade de sobrecargas. O deslocamento vertical ao nível do enchimento, apresentado na Figura 6.49, é de 0,12 m quando a estrutura está sujeita ao seu peso próprio e varia até 0,13 m com a aplicação das sobrecargas. O carregamento do arco A4 não provoca diferenças significativas no deslocamento vertical do resto da estrutura. Isto acontece devido ao peso próprio da ponte, 31180 ton aproximadamente 530 kN/m<sup>2</sup>, ser tão elevado em comparação com as sobrecargas, que este praticamente não se nota. O mesmo se aplica em relação aos deslocamentos e às tensões medidas nos arcos.

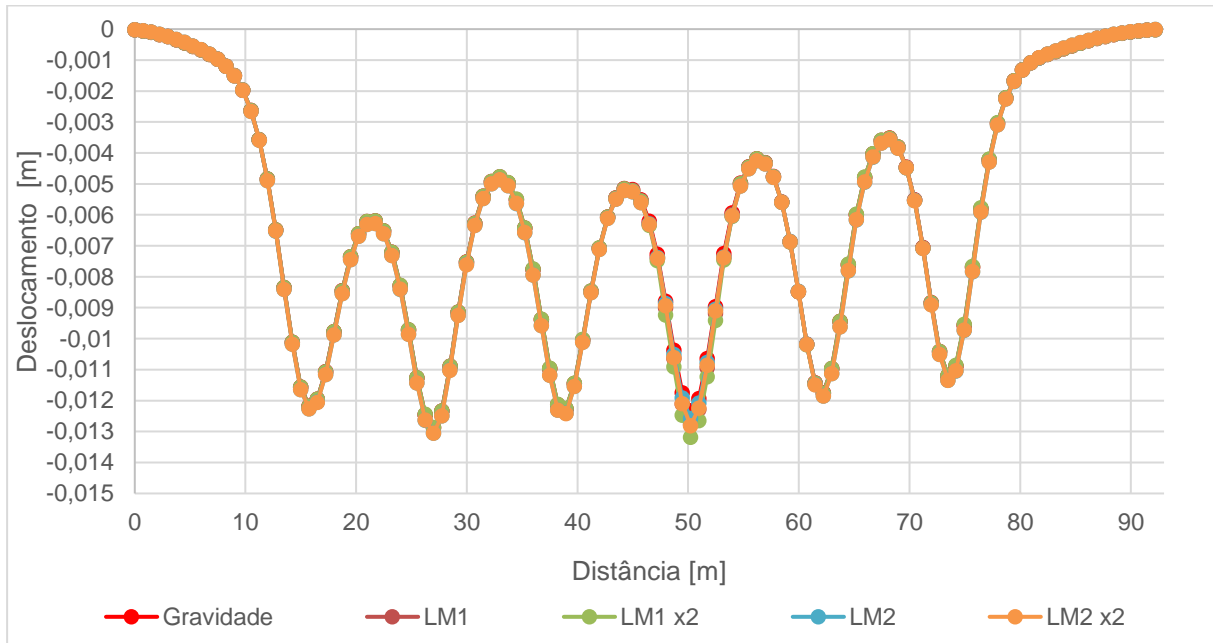


Figura 6.49 - Gráfico de deslocamento vertical ao longo do enchimento da ponte para sobrecarga

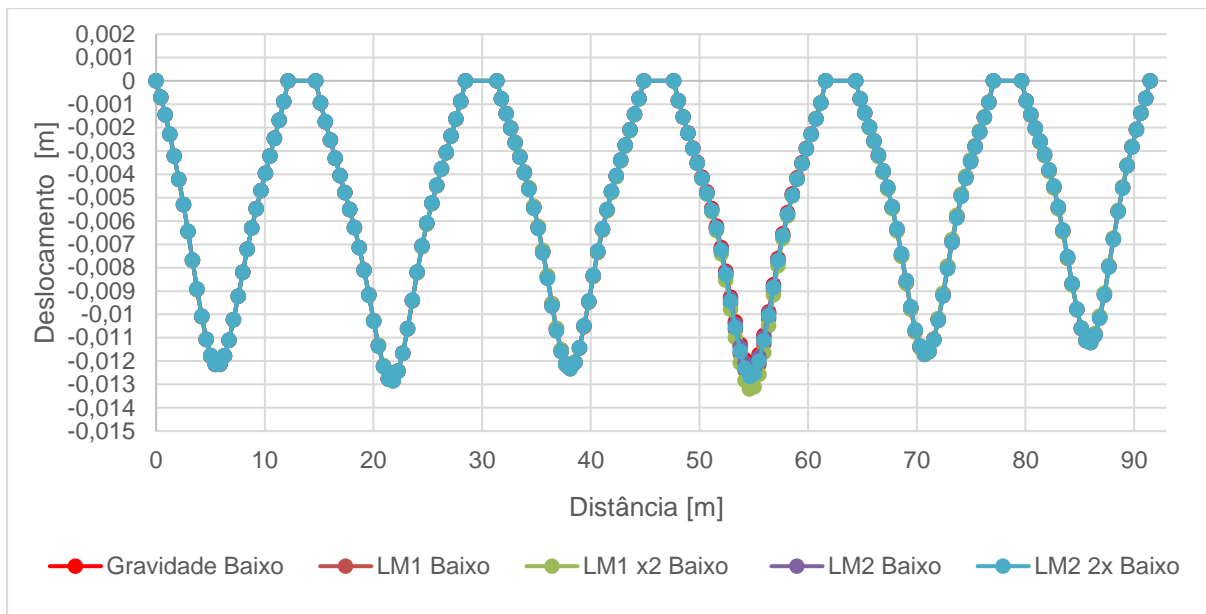


Figura 6.50 - Gráfico de deslocamento vertical ao longo dos topos dos arcos para sobrecarga

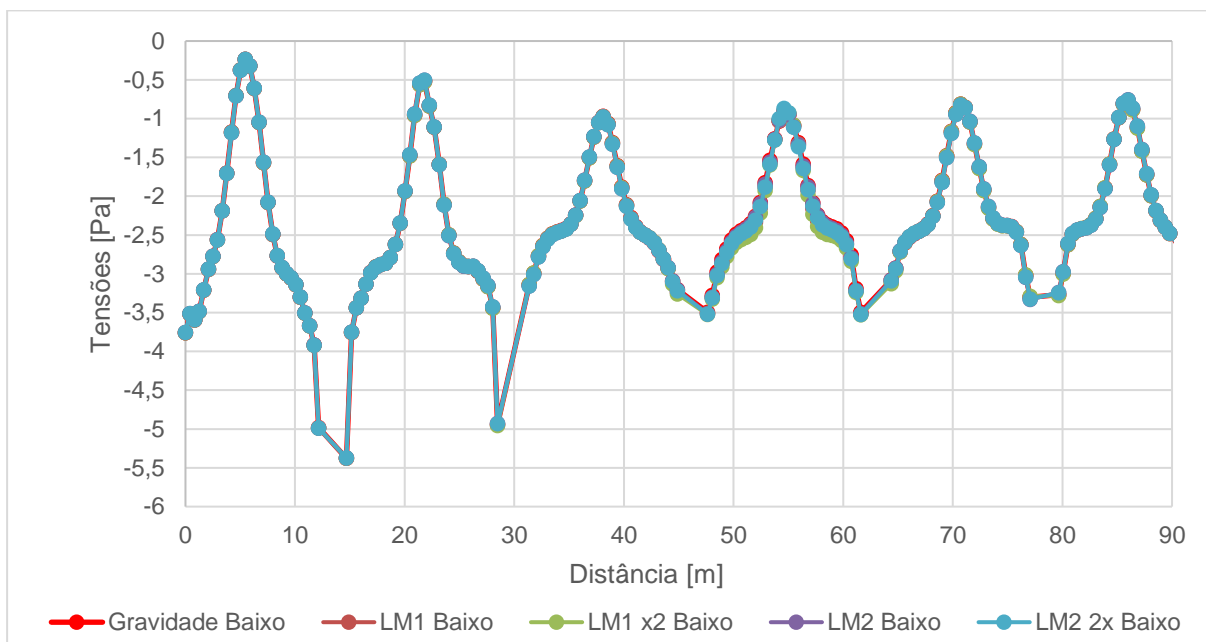


Figura 6.51 - Gráfico de tensões mínimas principais ao longo dos topos dos arcos para sobrecarga

Em relação à análise de sensibilidade das tensões provocadas pelo assentamento de apoio do pilar P3, verificou-se também que os efeitos não se propagam pela estrutura, sendo que apenas os arcos

A3 e A4 são afetados. Desta forma, optou-se por apresentar os valores referentes às tensões máximas e mínimas através dos outputs gráficos gerados pelo *ABAQUS*. As figuras 6.52, 6.53 e 6.54 apresentam as tensões máximas e mínimas para a ocorrência de um assentamento vertical nulo, de 0,01 m e 0,02 m respetivamente. Observa-se que o assentamento de apoio aumenta as tensões máximas no intradorso do arco de 0,25 MPa para 0,30 MPa. Em relação às tensões de compressão, a variação é menos expressiva onde se observam aumentos inferiores a 100 kPa.

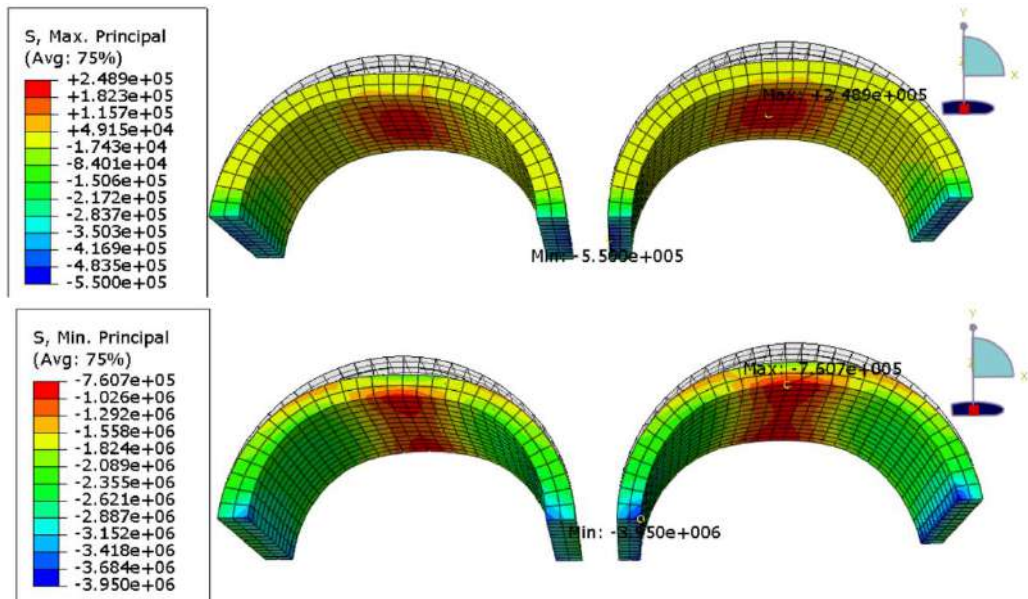


Figura 6.52 - Tensões principais para um assentamento de apoio de 0,00 m e LM1 (fator de deformação de 50)

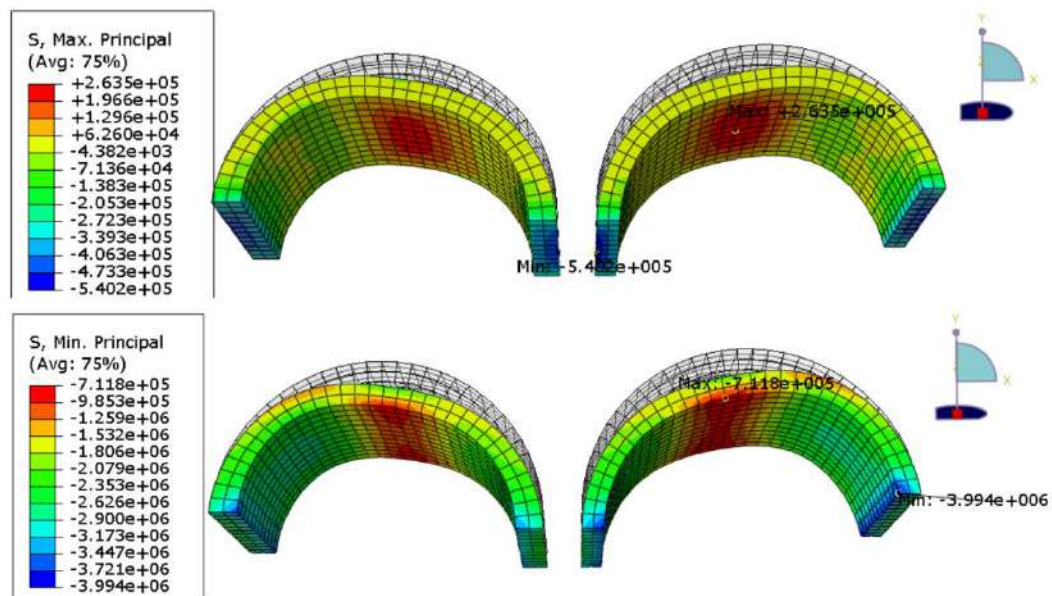


Figura 6.53 - Tensões principais para um assentamento de apoio de 0,01 m e LM1 (fator de deformação de 50)

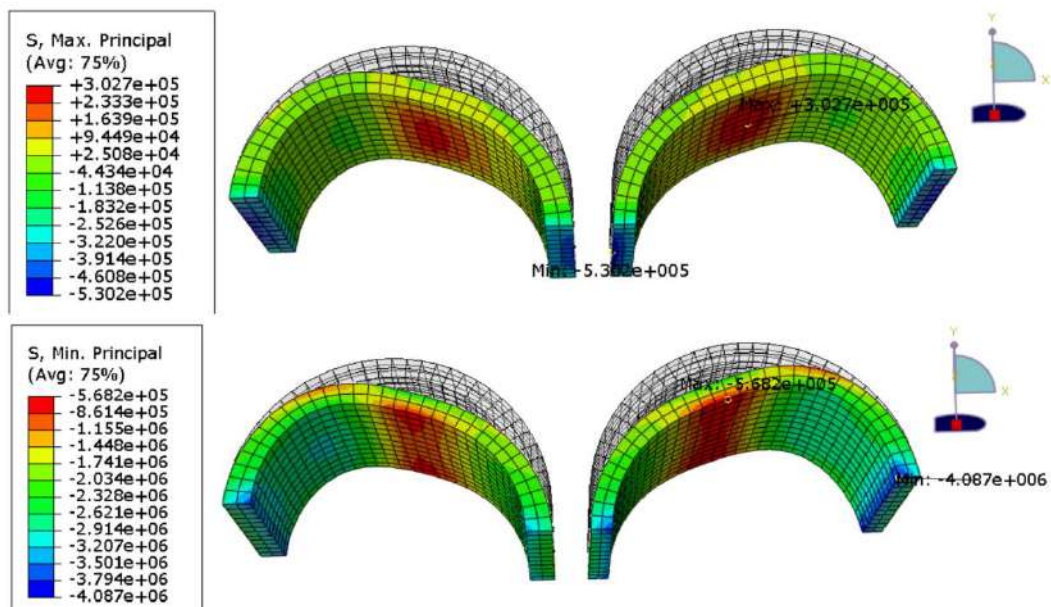


Figura 6.54 - Tensões principais para um assentamento de apoio de 0,02 m e LM1 (fator de deformação de 50)

Além da análise de assentamento anterior é também pertinente analisar os vetores de deslocamentos dos muros de tímpano, uma vez que os arcos A1 e A3 apresentam fendilhação longitudinal acentuada, que se traduz no mecanismo de separação ilustrado na Figura 4.9. Observaram-se tensões de tração na parte inferior da secção do topo dos arcos até 1 MPa, o que favorece os movimentos de translação ilustrados na Figura 6.55. Estes movimentos originam a fendilhação longitudinal no intradorso dos arcos, uma vez que promovem o afastamento do tímpano até as laterais dos arcos falharem por tração.

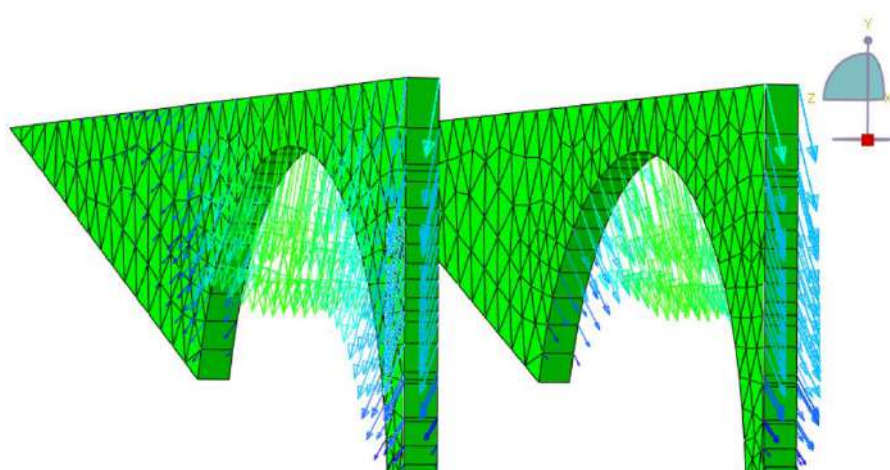


Figura 6.55 - Vetores de deslocamento nos tímpanos do arco A1 quando a estrutura está sujeita ao seu peso próprio

## CONCLUSÕES

Já se previa que o mecanismo longitudinal de carga não apresentasse problemas de resistência que comprometam a integridade da estrutura. A análise de efetuada com o *LimitState RING* já dava indicações nesse sentido, onde se observaram fatores de adequabilidade elevados. Através do Modelo 1 elaborado no *ABAQUS* confirma-se a segurança e adequabilidade do mecanismo longitudinal de cargas.

A análise deste modelo apresenta resultados concordantes com a análise limite, uma vez que o carregamento previsto na norma EN 1992-1 não provoca aumentos de tensões, nem de deslocamentos verticais consideráveis. Com isto, é possível validar o resultado fornecido pela análise limite e concluir que a ponte se encontra estável em relação ao mecanismo longitudinal de cargas. Não obstante, considera-se importante a implementação de um método capaz de medir com rigor as deformações diagnosticadas, por forma a avaliar se estas se encontram ativas e a evolução das mesmas ao longo do tempo.

### 6.13.3. MODELO 2 – MACRO MODELAÇÃO DO ENCONTRO OESTE

Uma vez que se concluiu no subcapítulo anterior que o mecanismo de carga longitudinal se encontra razoavelmente estável e a grande parte das deformações da Ponte da Pedra se localizam nos muros de tímpano dos encontros, decidiu-se executar um segundo modelo que estude o mecanismo de transmissão transversal de cargas. Este mecanismo foi ilustrado anteriormente, no Capítulo 4 através da Figura 3.20, e traduz-se num muro de suporte de terras sujeito a impulsos laterais provocados pelo material de enchimento e pela sobrecarga. A Figura 6.56 ilustra do lado esquerdo a discretização do problema e do lado direito as tensões horizontais a que o muro está sujeito. Acontece que nos problemas clássicos de muros de suporte, como o apresentado na Figura 6.56, o muro é considerado um corpo rígido que não sofre deformações.

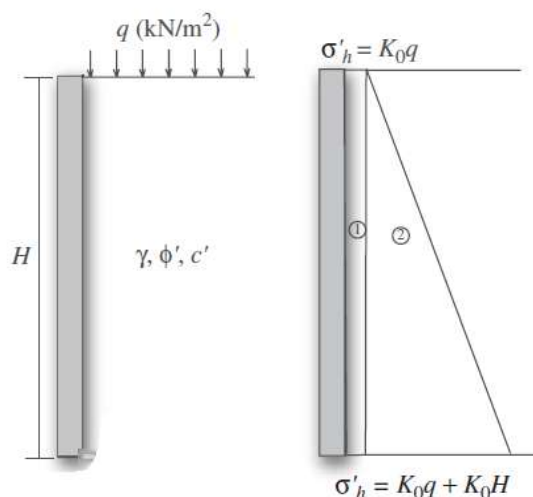


Figura 6.56 - Muro de suporte sujeito ao impulso lateral de terras e sobrecarga (Helwany, 2007)

Como se pode verificar pela figura, o impulso de terras aumenta em função do aumento de profundidade enquanto que uma carga distribuída à superfície tem um efeito constante em profundidade. Os muros da Ponte da Pedra são estruturas compostas por blocos não argamassados, como ilustrado na Figura 6.57, e apresentam níveis de deformação da ordem de grandeza dos 10 cm na parte inferior. Verificou-se a ocorrência de deformações apenas em zonas onde muros são mais altos e conseqüentemente são submetidos a impulsos superiores na base. Estima-se que estas estruturas apresentem uma espessura de 0,5 m e a sua estabilidade depende do seu peso próprio. As linhas amarelas sobrepostas na figura anterior separam zonas de embarrigamento de diferentes magnitudes. No topo não se observa qualquer tipo de deformação, enquanto que na base os blocos aparentam algum escorregamento.



Figura 6.57 - "Embarrigamento" muro de tímpano Sul, Encontro Oeste

Foi modelado em detalhe a zona correspondente ao encontro Oeste e ao arco A1, de modo a compreender o contributo das sobrecargas para a deformação dos muros de tímpano no encontro e no topo do arco. O modelo baseia-se na técnica de macro modelação onde se representa o enchimento, o arco A1, o muro de tímpano Sul e o pavimento através de corpos homogéneos e isotrópicos. Todos os elementos estruturais possuem um comportamento linear à exceção do enchimento que obedece ao critério de rotura Mohr-Coulomb. O modelo constitui uma simplificação da ponte inteira em que se procura a causa das deformações elevadas nos muros de tímpano. Ao contrário do modelo 1 a integração é explícita, uma vez que se adequa melhor a problemas não lineares com vários contatos entre elementos.

## GEOMETRIA

A geometria do modelo foi concebida com recurso ao levantamento rigoroso fornecido pela Arrow 4D. A Figura 6.58 apresenta a assemblagem dos vários elementos estruturais: arco A1, muros de tímpano, enchimento, pavimento e placas de aplicação de carga. Todos os elementos foram desenhados a partir do seu perfil em alçado e posteriormente extrudidos. O muro de tímpano possui 0,5 m de espessura, as placas de carga são quadradas com 0,4 m de largura como previsto pelo LM1 da EN 1992-1. O arco possui 6 m de largura e o enchimento e o pavimento 5 m. Além dos elementos enunciados acima, existem duas bases sob os muros de tímpano, que simulam a fundação dos mesmos, permitindo que se deformem mediante a expansão do material de enchimento.

O pilar que suporta o arco A1, o respetivo quebra-mar e as guardas foram omitidos à semelhança do Modelo 1, por não serem essenciais ao modelo.

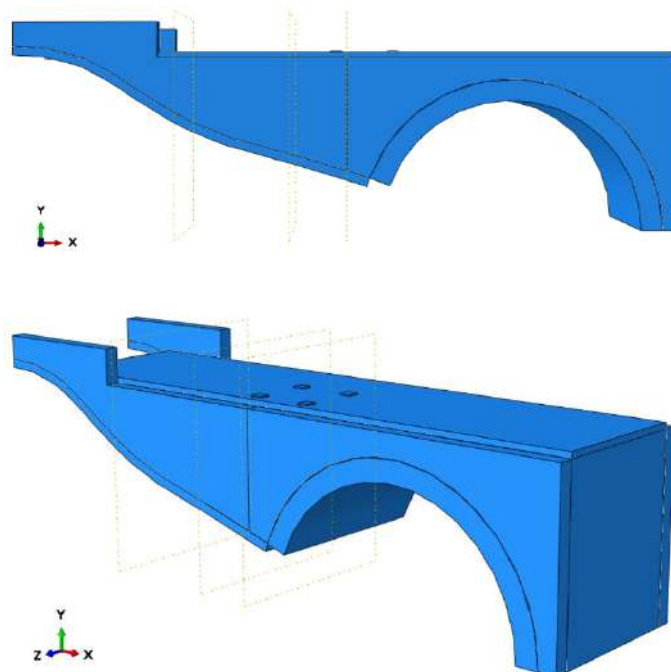


Figura 6.58 - Geometria do Modelo 2

## COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS E INTERAÇÕES

O arco e os muros de tímpano são modelados a partir do material alvenaria com peso volúmico  $\gamma$  igual a 25 kN/m<sup>3</sup>, módulo de elasticidade  $E$  igual a 2 GPa e coeficiente de Poisson  $\nu$  igual a 0,2. O enchimento e o pavimento são modelados através de um material com peso volúmico  $\gamma$  igual a 20 kN/m<sup>3</sup>, módulo de elasticidade  $E$  igual a 1 GPa e coeficiente de Poisson  $\nu$  igual a 0,3.

O enchimento segue um critério de rotura Mohr-Coulomb com um ângulo de resistência ao corte  $\phi$  igual a  $37^\circ$ , um ângulo de dilatância  $\psi$  igual a  $1^\circ$  e coesão  $c$  igual a 120 kPa.

A interação entre elementos estruturais é modelada através de uma condição de “Hard contact”, que impede que os elementos ocupem os mesmo espaço e por uma condição tangencial com um coeficiente de atrito igual a 0,3. A interação entre os muros de tímpano e o enchimento utiliza a condição de “Hard contact” e ainda impede que estes se separem após o contacto.

### **CONDIÇÕES DE FRONTEIRA, CARREGAMENTO E AÇÕES**

O arco é encastrado nas faces inferiores o que impede qualquer deslocamento ou rotação. Os muros de tímpano apoiam-se nos arcos e na fundação que impedem o seu movimento segundo Y no entanto permitem deslocamento segundo Z. O corte da estrutura permite os deslocamentos em Y e impede todos os outros deslocamentos e rotações. Por fim, o enchimento pode deslocar-se segundo Z forçando os muros de tímpano para fora da estrutura ao entrar em rotura.

O modelo é estudado através do carregamento da estrutura com o seu peso próprio e sobrecarga provocada pelo caso de carga LM1. O caso de carga LM2 não é aplicado por ser uma combinação menos gravosa para o mecanismo transversal de cargas. Pretende-se avaliar o deslocamento dos muros de tímpano na zona mais desfavorável e no topo dos arcos, bem como as tensões mínimas e máximas.

### **MALHA DE ELEMENTOS FINITOS**

Todos os elementos estruturais são divididos em elementos finitos do tipo “HEX” “C3D8R” uma vez que não existem elementos finitos quadráticos como os que foram utilizados no Modelo 1. Os arcos são divididos em elementos com 0,2 m de largura e os restantes elementos em elementos com 0,3 m de largura. A malha é construída de modo a que as interações entre elementos estruturais partilhem nós, o que melhora a qualidade dos deslocamentos e das tensões. A Figura 6.59 apresenta a malha utilizada no modelo. Foi criado um plano de corte vertical paralelo ao eixo Y, ao longo do muro de tímpano, que permite observar o deslocamento e as tensões ao longo do muro de tímpano.

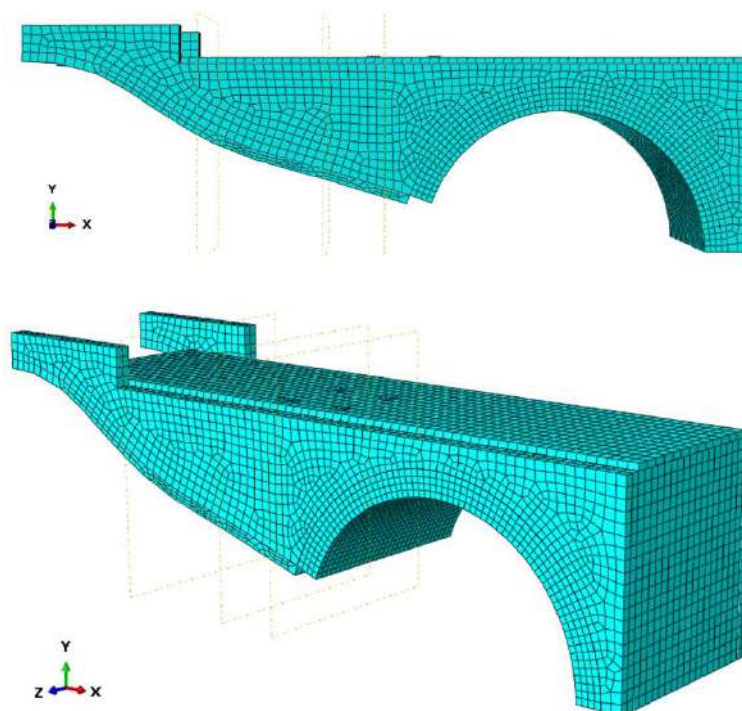
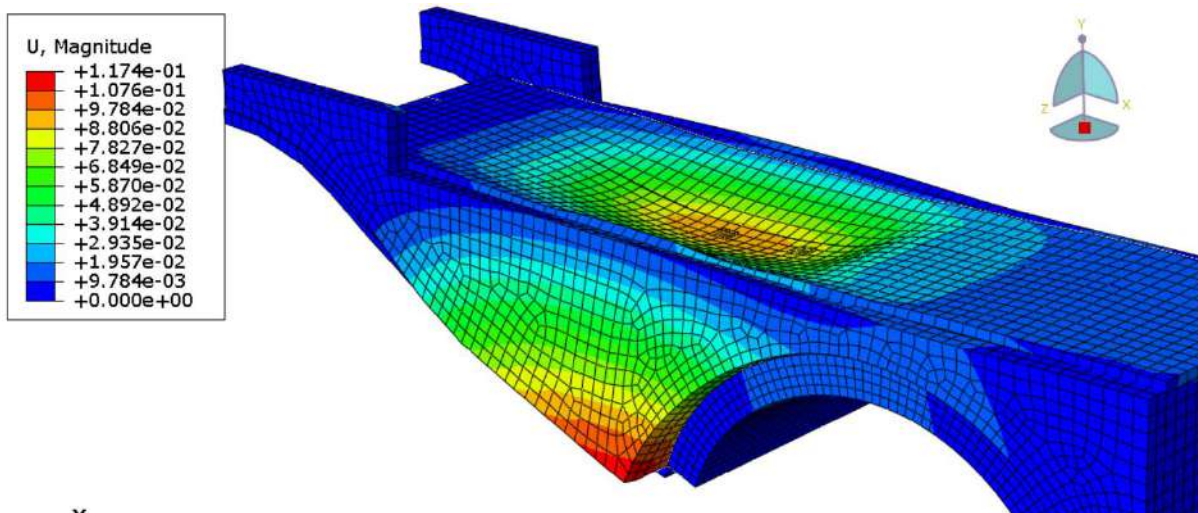


Figura 6.59 - Malha de elementos finitos do Modelo 2

## ANÁLISE DO MODELO

O modelo é composto por 102702 equações e necessitou de aproximadamente 10 minutos para realizar uma análise. O propósito do corrente modelo é o estudo do mecanismo de transmissão de cargas da Ponte da Pedra para aferir as possíveis causas de algumas anomalias observadas, nomeadamente deformações localizadas. A anomalia mais acentuada é a deformação dos muros de tímpano nos encontros, nas zonas em que estes se desenvolvem com uma maior altura (Anomalia 4 definida no subcapítulo 6.8). A deformação “embarrigamento” é causada porque os impulsos que atuam no muro são suficientes para vencer o imbricamento entre as pedras fazendo com que estas se desloquem para fora da estrutura. Além disto há evidências de descompressão lateral acentuada nos arcos A1 e A3 e leve nos restantes (Anomalia 2). A causa desta anomalia também está relacionada com os impulsos laterais que atuam sobre os muros de tímpano. Neste caso em vez dos muros se desligarem da fundação por corte, desligam-se dos arcos por tração trazendo consigo parte do arco. Com isto, pretende-se compreender a influência da sobrecarga na magnitude das anomalias suprarreferidas. ilustra a deformação da estrutura com um fator de amplificação de 10 vezes onde se pode observar de forma qualitativa o modo de rotura dos tímpanos.

A Figura 6.60 ilustra a deformação da estrutura com um fator de amplificação de 10 vezes onde se pode observar de forma qualitativa o modo de rotura dos tímpanos. A Figura 6.61 ilustra a resultante do vetor de deslocamento em vários pontos da estrutura. Os tímpanos movem-se mais à medida que a profundidade aumenta e os tímpanos no topo do arco apresentam um deslocamento com uma componente descendente e outra horizontal em direção ao exterior da ponte.



v

Figura 6.60 - Deformada da estrutura e magnitude dos deslocamentos (fator de amplificação de 10)

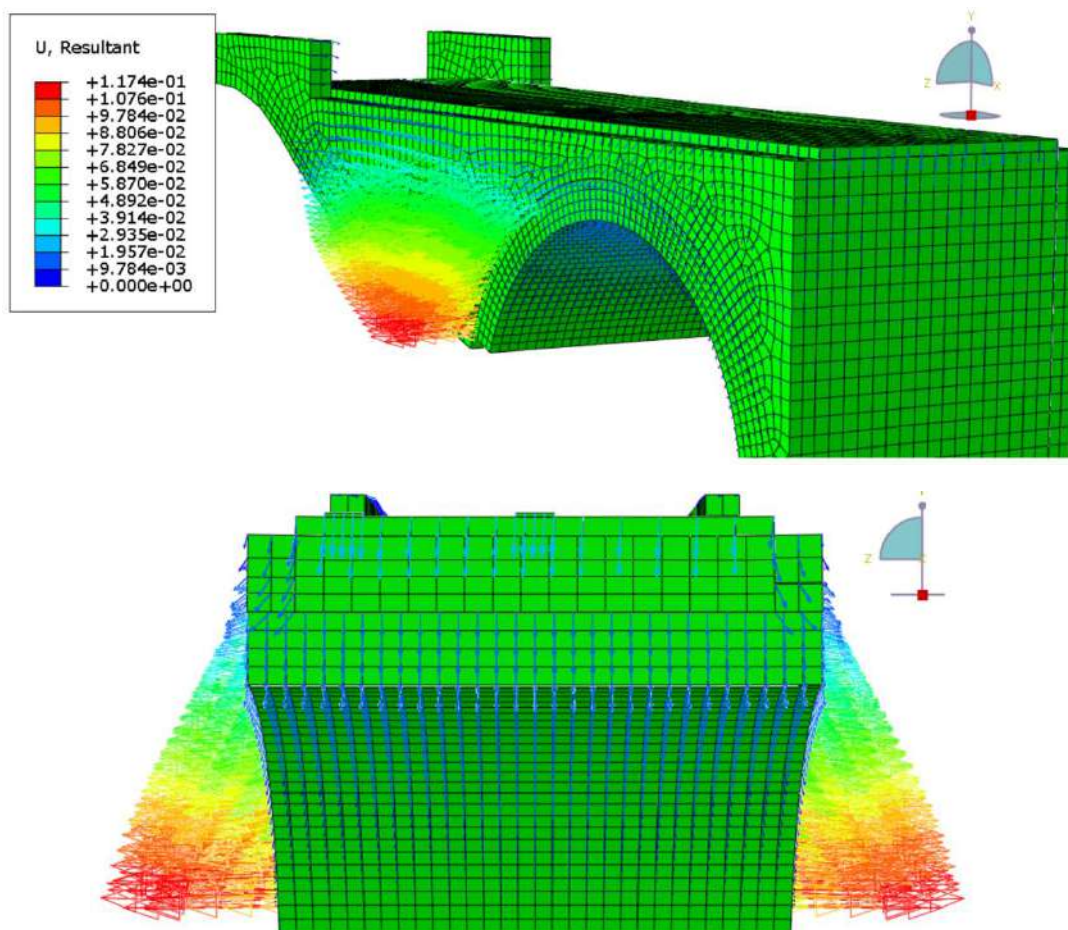


Figura 6.61 - Resultante dos vetores de deslocamento

Os deslocamentos segundo Z são medidos ao longo do muro de tímpano Sul e apresentam-se na Figura 6.62 e os deslocamentos segundo Y ao longo do arco apresentam-se na Figura 6.63.

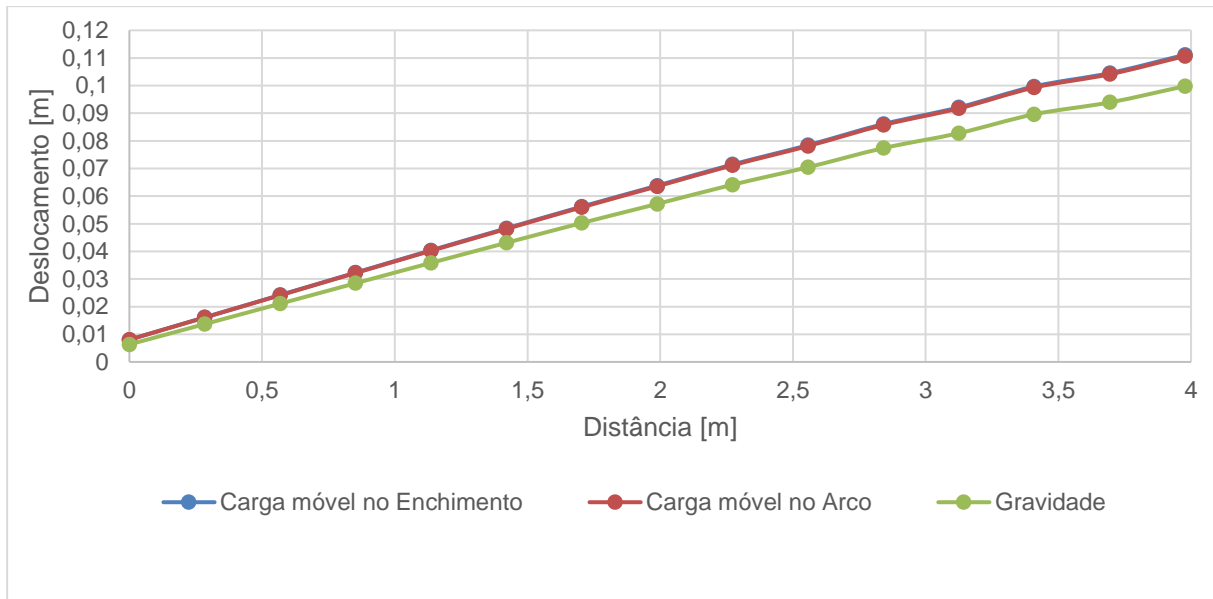


Figura 6.62 - Gráfico de deslocamento segundo Z (para fora do plano) ao longo do tímpano Sul

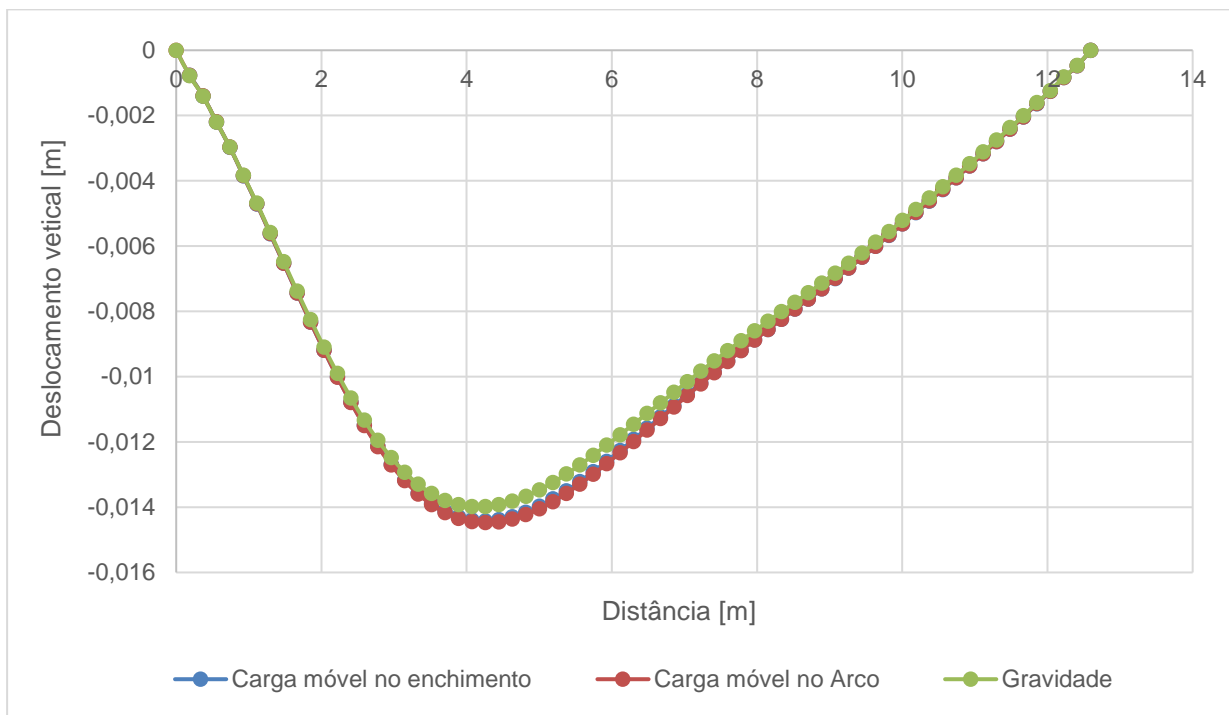


Figura 6.63 - Gráfico de deslocamento segundo Y (direção vertical) ao longo do arco A1

Uma vez que o modelo de carga LM1 é composto por uma carga distribuída e por dois eixos de carga com carácter móvel, são equacionados três cenários de carga. No primeiro, os eixos móveis são posicionados sobre o pavimento na zona onde os muros de tímpano apresentam maiores deformações. No segundo, os eixos são posicionados no pavimento sobre a zona do arco onde o

enchimento é menor. No terceiro, é apenas aplicado o peso próprio da estrutura. Ambos os gráficos permitem concluir que a sobrecarga móvel não provoca alterações significativas, uma vez que independentemente da sua posição o resultado em deslocamento não se altera significativamente. Conclui-se também que as sobrecargas aplicadas aumentam tanto a deformação vertical do arco como a deformação do muro de tímpano Sul. No caso do arco o peso próprio provoca uma deformação de 13 mm e a posterior aplicação de sobrecarga eleva a deformação para 14,2 mm o que representa um aumento de 9%. No caso do tímpano Sul a deformação inicial é de 10 cm aumentando para 11 cm com a aplicação de sobrecarga o que corresponde a um aumento de 10%. Mediu-se também o deslocamento do tímpano no topo do arco, onde se registou uma deformação segundo Z de 7,4 mm devido ao peso próprio, 8,1 mm devido ao acréscimo da carga distribuída e 8,2 mm devido aos anteriores mais a contribuição dos eixos móveis.

As tensões principais mínimas e máximas são apresentadas na Figura 6.64 onde se observa que o limite de tensão de compressão de 10 MPa não é ultrapassado em nenhuma zona da estrutura. Em relação às tensões máximas observa-se uma mancha alaranjada no intradorso onde as tensões se aproximam de 1 MPa. Este cenário verificou-se para os três casos de carga com uma diferença de aproximadamente 20 kPa, que não se considera significativa.

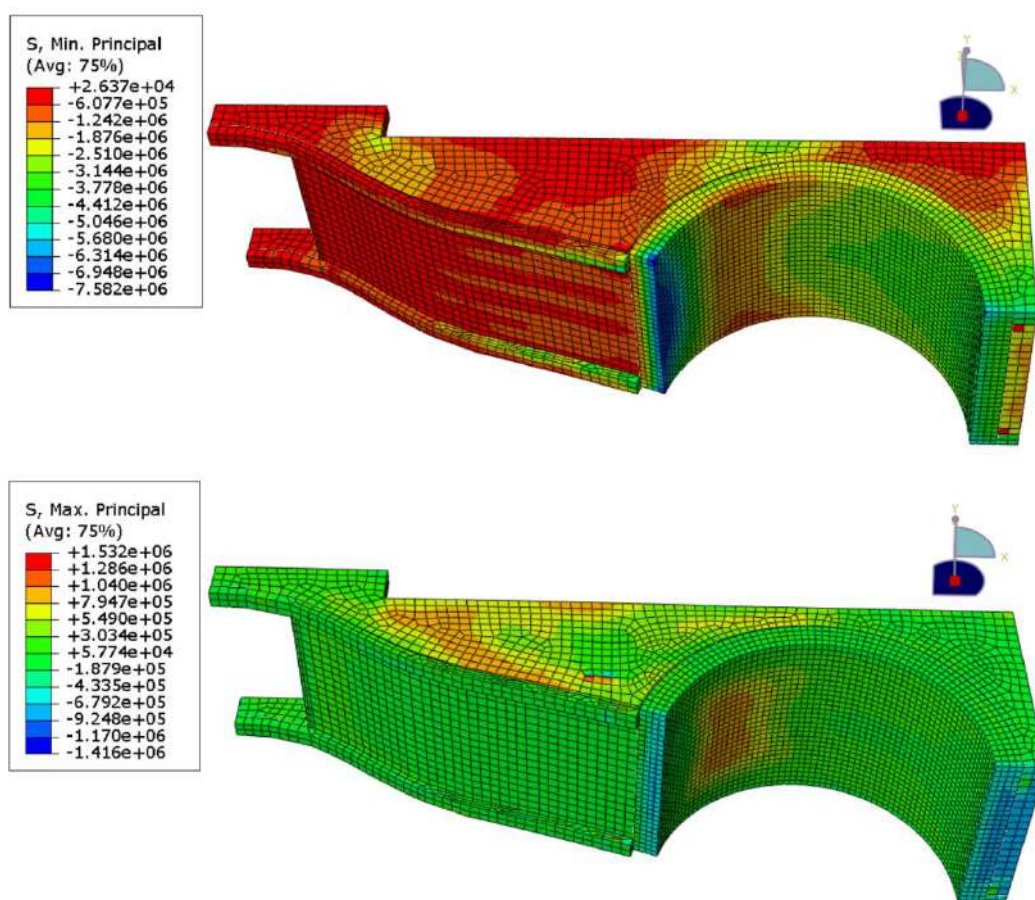


Figura 6.64 - Tensões principais mínimas e máximas na estrutura

## CONCLUSÕES

O mecanismo transversal de cargas apresenta deformações, que em alguns casos, já foram reparadas.

Observou-se com este modelo que uma sobrecarga distribuída, da ordem dos 10 kN/m<sup>2</sup> pode aumentar as deformações até 10% devido à expansão lateral do material de enchimento. Assim conclui-se que a sobrecarga distribuída afeta diretamente o equilíbrio dos tímpanos e descompressão lateral dos arcos. Para avaliar o real contributo das sobrecargas nas deformações da ponte, sugere-se que estas sejam medidas de forma rigorosa de modo a calcular a variação de deslocamentos.

No caso da descompressão lateral dos arcos verifica-se que existem tensões de tração no intradorso suficientemente elevadas (1 MPa) para causar separação e que a tendência dos muros de tímpano é deslocarem-se para fora da estrutura. A sobrecarga voltou a apresentar um fator de aumento de deformações de 10%.

As cargas isoladas não apresentam grandes alterações à estrutura quando aplicadas fora do arco. O tráfego da Ponte da Pedra é bastante reduzido, fazendo-se à vez em cada sentido, o que pode criar situações em que um dos lados tem de esperar para fazer atravessar criando comboios de três e quatro automóveis. Estes comboios, se forem automóveis ligeiros não sobrecarregam a estrutura de forma preocupante. No entanto se forem camiões de transporte de agregados, a sobrecarga assemelha-se à aplicada no modelo. Como nota refere-se que uns metros à frente do encontro Este encontra-se em exploração uma pedreira de agregados.

No mecanismo transversal de cargas, o peso próprio da estrutura é uma ação desestabilizadora ao contrário do mecanismo longitudinal, onde peso próprio contribui para a estabilização dos arcos desde que estes não entrem em rotura por compressão. Com este modelo conclui-se que as deformações nos muros de tímpano e a descompressão é afetada diretamente pelo carregamento excessivo que pode ocorrer atualmente.







## 7. CONCLUSÕES FINAIS

### 7.1. CONCLUSÕES

A Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela, classificada como Monumento Nacional por se tratar de uma obra romana de grande relevância, integra a via de comunicação rodoviária EN206 e permite a transposição do rio Tuela por parte de pessoas e bens. É notável que uma obra de engenharia de tamanha importância tenha sobrevivido ao desafio do tempo. Erguida no século III pelo império romano, conta com cerca de 1700 anos de existência, nos quais as sobrecargas e a estrutura se alteraram, devido à evolução dos veículos e ao acrescento de uma camada betuminosa sobre o anterior pavimento. Também os materiais foram submetidos a ações agressivas de erosão, em especial nas zonas emersas e submersas que potencialmente podem levar ao enfraquecimento da alvenaria.

As pontes de alvenaria representam um vasto património de estruturas que, integram ligações rodoviárias e ferroviárias, essenciais às necessidades quotidianas de transporte de bens, serviços e pessoas. Além de nos darem a conhecer o passado contribuem para a acessibilidade atual do território. As vias de transporte estão em constante expansão, o que faz com que num determinado itinerário coexistam pontes de várias épocas. Enquanto as pontes antigas apresentarem níveis adequados de segurança e conservação, estas podem e devem contribuir para as acessibilidades do país. Em especial, numa época em que não existe disponibilidade financeira para construir infraestruturas de raiz, é necessário conservar as pontes existentes mantendo-as em serviço. Além da importância funcional, algumas pontes de alvenaria são classificadas como Património de interesse público ou Monumento Nacional. A Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela está catalogada como Monumento Nacional o que elevada a sua importância e a necessidade de a preservar fielmente ao seu estado inicial.

As estruturas de alvenaria são difíceis de modelar devido ao comportamento dos materiais e às complexas interações entre eles. A modelação do estado limite último requer o conhecimento do comportamento plástico dos materiais o que se traduz na realização de ensaios de laboratório. Em estruturas de elevado valor histórico como a Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela não é possível extrair carotes de material para o caracterizar, podendo-se apenas recorrer a métodos não destrutivos. Desta forma, importa sublinhar que os valores apresentados na análise dos modelos apresentam alguma incerteza uma vez que, como foi referido anteriormente, se desconhece as propriedades mecânicas dos materiais, bem como as leis constitutivas que regem o seu comportamento e as suas interações. No entanto, e como foram utilizados valores conservativos retirados da bibliografia para estruturas e/ou materiais semelhantes, de modo a analisar a estabilidade da estrutura e a influência que um conjunto de ações exerce na ponte, os resultados obtidos são conservadores. De acordo com os dados facultados, não tem havido evolução significativa das anomalias detetadas nos últimos 10 anos, pelo que a Ponte da Pedra aparenta estar estável.

Com base na inspeção da estrutura, no levantamento rigoroso e nos modelos numéricos, conclui-se que a Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela necessita de um conjunto de intervenções que favoreçam a sua durabilidade e perpetuidade no tempo. É necessário colmatar deformações nos muros de tímpano, no intradorso dos arcos e juntas erodidas dos pilares.

Do ponto de vista estrutural é relevante classificar o desempenho do mecanismo de transmissão de cargas longitudinal e transversal, explicitados no subcapítulo 3.5. O mecanismo longitudinal aparenta uma robustez suficientemente elevada para acomodar o tráfego atual.

Em relação ao mecanismo transversal de cargas este aparenta ser condicionante, uma vez que as sobrecargas provocam aumentos de deslocamento mais notórios quando comparado com o mecanismo longitudinal. O peso próprio do enchimento e pavimento é também desestabilizador e promove alterações nos muros de tímpano e descompressão lateral dos arcos.

Por fim, conclui-se que a inspeção de uma estrutura torna-se mais completa à medida que o número de inspeções é maior. Quer isto dizer que, quanto mais forem os relatórios de inspeção executados, melhor será o conhecimento global da estrutura. Isto acontece porque existem anomalias que se desenvolvem de forma muito lenta e necessitam de várias observações para poderem ser sinalizadas.

### **7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Com vista a melhorar a compreensão da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela, seria interessante iniciar uma campanha de monitorização da estrutura. Esta tarefa pode ser executada com recurso a fotogrametria, à semelhança do que foi feito no levantamento rigorosa da estrutura, ou através de um sistema de monitorização semelhante ao utilizado por (P. M. Q. M. da Costa, 2007) na Ponte de Vila Fria. Caso não seja possível implementar um programa de monitorização complexo, sugere-se a utilização de fotogrametria para medir e mapear em detalhe as anomalias ativas. O objetivo é criar uma base de dados onde seja possível sobrepor vários momentos no tempo e comparar a evolução dos deslocamentos entre eles.

Com base no levantamento efetuado, seria interessante desenvolver um plano de intervenção da estrutura, bem como um plano de manutenção a longo prazo com objetivos concretos, que conserve a ponte e a proteja como Monumento Nacional. Além da elaboração dos planos, seria também pertinente avaliar o custo da intervenção e da manutenção a longo prazo, verificando a viabilidade económica do projeto.

Em relação à modelação da ponte sugere-se a construção de um modelo de elementos finitos mais detalhado, que procure determinar a carga de colapso nos encontros e nos pontos críticos dos arcos. O método dos elementos discretos seria também uma abordagem válida e interessante para comparar com a solução anterior, e assim convergir para um valor.





## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álamo, J. A. M.-C. (2001). *Análisis estructural de puentes arco de fábrica . Criterios de Comprobación*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Alves, A. S. C. (2009). *Reabilitação e Reforço de Pontes de Alvenaria*. Instituto Superior Técnico.
- Andreas, U. (1996). Failure criteria for masonry panels under in-plane loading. *Journal of Structural Engineering*, 122(1), 37–46. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1996\)122:1\(37\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1996)122:1(37))
- Angelillo, M., Lourenço, P., & Milani, G. (2014). *Mechanics of Masonry Structures*. 551(April 2016). <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1774-3>
- Bartholmae, A. (2001). *50 Jahre Kraftfahrt-Bundesamt 1951 bis 2001*.
- Bień, J., & Kamiński, T. (2006). Numerical modelling of damaged masonry arch bridges. *Proceedings of the 3rd International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management - Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Performance and Cost*, (July 2006), 227–228. <https://doi.org/10.1201/b18175-80>
- Capela, J. V., Borralheiro, R., & Matos, H. (2007). *As freguesias do distrito de Baragança nas memórias paroquiais de 1758 Memórias, História e Património*. Retrieved from <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/12304?mode=full>
- Clabaut, M. (n.d.). Pont de la Concorde. Retrieved November 16, 2019, from <https://www.britannica.com/topic/Pont-de-la-Concorde>
- Costa, C., & Kamiński, T. (2016). Defects and Failures Influencing the Mechanical Performance of Bridge Structures. *Procedia Engineering*, 161, 1260–1267. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.565>
- Costa, C. M. R. (2002). *Análise do Comportamento da Ponte da Lagoncinha sob Acção do Tráfego Rodoviário*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Costa, C. M. R. (2009). *Análise Numérica e Experimental do Comportamento Estrutural de Pontes em Arco de Alvenaria de Pedra*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Costa, P. M. Q. M. da. (2007). *Análise da Construção e do Comportamento duma Ponte de Pedra*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Curtin, W. G., Shaw, G., Beck, J. K., & Bray, W. A. (1982). *Structural Masonry Designers' Manual*.
- Desconhecido. (2009). Arkeologista. Retrieved November 12, 2019, from <http://arkeologista.blogspot.com/2009/03/ponte-celta.html>

- Dhanasekar, M., Page, A. W., & Kleeman, P. W. (1985). Failure of Brick Masonry Under Biaxial Stresses. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers (London)*, 79(pt 2), 295–313. <https://doi.org/10.1680/iicep.1985.992>
- Eberhardt, E., Stead, D., & Stimpson, B. (1999). Quantifying progressive pre-peak brittle fracture damage in rock during uniaxial compression. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36(3), 361–380. [https://doi.org/10.1016/S0148-9062\(99\)00019-4](https://doi.org/10.1016/S0148-9062(99)00019-4)
- Eurocode 1: Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges*. (2003).
- Fernandes, F. M., & Lourenço, P. B. (2009). Sobre a aplicação do georadar em pontes. *ASCP'09 – 1º Congresso de Segurança e Conservação de Pontes ASCP Lisboa*, (July).
- Fernandes, S. D. F. (2016). *Levantamento e Diagnóstico Estrutural com recurso a Fotogrametria*. Retrieved from <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/48369>
- Gago, A. M. C. de S. (2004). *Análise Estrutural de Arcos, Abóbodas e Cúpulas*. IST.
- Gerhardt, R., Kurrer, K., & Pichler, G. (2003). The methods of graphical statics and their relation to the structural form. *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, (January).
- Guimarães Atalaia Canhão, R. (2010). *Análise Dinâmica do Arco em Alvenaria - O efeito do Enchimento do Extradorso*. Instituto Superior Técnico.
- Helmerich, R., Niederleithinger, E., Trela, C., Bień, J., Kamiński, T., & Bernardini, G. (2012). Multi-tool inspection and numerical analysis of an old masonry arch bridge. *Structure and Infrastructure Engineering*, 8(1), 27–39. <https://doi.org/10.1080/15732471003645666>
- Helwany, S. (2007). Applied Soil Mechanics: With ABAQUS Applications. In *Applied Soil Mechanics: With ABAQUS Applications*. <https://doi.org/10.1002/9780470168097>
- Heyman, J. (Cambridge U. (1966). The Stone Skeleton. *International Journal of Solids and Structures*, 2, 249–279.
- Heyman, J. (Cambridge U. (1995). *The Stone Skeleton Structural Engineering of Masonry Architecture*.
- Jana, E., & Noé, P. (2010). SIPA - Sistema de Informação para o Património Arquitetónico. Retrieved November 2, 2019, from [http://www.monumentos.gov.pt/site/app\\_pagesuser/SIPA.aspx?id=827](http://www.monumentos.gov.pt/site/app_pagesuser/SIPA.aspx?id=827)
- Jesus, J. J. C. De. (2013). *Caraterização Geométrico-Estrutural de Pontes em Arco de Alvenaria na Região de Bragança*. Instituto Politécnico de Bragança.
- Junior, L. A. N. (2016). LAN - Especialista em fundações pesadas e geotecnia. Retrieved November

- 15, 2019, from <https://sites.google.com/site/lanfundacoespesadasegeotecnia/home/119-estacas-cravadas>
- Kamiński, T. (2007). Three-dimensional modelling of masonry arch bridges based on predetermined planes of weakness. *Arch 07 - 5th International Conference on Arch Bridges*.
- Kamiński, T. (2010). *Tests to collapse of masonry arch bridges simulated by means of FEM*. (July 2010). <https://doi.org/10.13140/2.1.4381.2649>
- Kühn, S. (2004). Tarr Steps. Retrieved November 12, 2019, from [https://en.wikipedia.org/wiki/Tarr\\_Steps#/media/File:Tarr\\_Steps\\_02.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Tarr_Steps#/media/File:Tarr_Steps_02.jpg)
- Lemos, J. V. (2007). Discrete Element Modeling of Masonry Structures. *International Journal of Architectural Heritage*, 1(2), 190–213. <https://doi.org/10.1080/15583050601176868>
- LimitState Ltd. (2016). *LimitState : RING Manual* (Vol. 44). Vol. 44.
- Locking, A. (2018). Aqueduct Pont Du Gard. Retrieved November 12, 2019, from <https://www.andrewswalks.co.uk/pont-du-gard.html>
- Lopes, N. A. dos S. (2012). *Inspeção de Pontes Ferroviárias em Arcos de Alvenaria*. Retrieved from <http://www.rcaap.pt/detail.jsp?id=oai:comum.rcaap.pt:123456789/5827>
- Lourenço, P. J. B. B. (1996). *Computational strategies for masonry structures*. FEUP.
- Lubowiecka, I., Arias, P., Riveiro, B., & Solla, M. (2011). Multidisciplinary approach to the assessment of historic structures based on the case of a masonry bridge in Galicia (Spain). *Computers and Structures*, 89(17–18), 1615–1627. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2011.04.016>
- Martin, C. D. (1993). *The Strength of Massive Lac du Bonnet Granite Around Underground Openings*. University of Manitoba.
- Melbourne, C., Gilbert, M., & Wagstaff, M. (1995). The Behaviour of Multi-Span Masonry Arch Bridges. In *Arch Bridges - 1st International Conference : Papers - Hardback - 1995* (p. 494).
- Mendonça, T., Brito, V., & Costa, S. (2016). *Aplicação De Gestão De Obras De Arte – Goa – Gestão Integrada De Activos*. 1–10. Retrieved from <http://www.betar.pt>
- Milani, G., & Lourenço, P. B. (2012). 3D non-linear behavior of masonry arch bridges. *Computers and Structures*, 110–111, 133–150. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2012.07.008>
- Morais, M. J. da C. (2012). *Pontes em Arco de Alvenaria - Estudo de um Caso Prático*. Instituto Politécnica de Viseu.
- Mourinho, A. M. (1978). *Ponte romano no rio Tuela e síntese das vias e pontes romanas no nordeste*

*transmontano.*

Multimédia, H. (n.d.). Ponte Duarte Pacheco. Retrieved November 17, 2019, from <https://www.inspirock.com/portugal/entre-os-rios/ponte-duarte-pacheco-a6479773523>

Narasimha, A. V, & Venkatramaiah, C. (2000). *Numerical Problems, Examples and Objective Questions in Geotechnical Engineering.*

Nichols, J. (2017). *A Failure Analysis of a 17th Century Welsh Bridge using ABAQUS.* (December).

No Title. (n.d.). Retrieved from <https://www.romanoimpero.com/2009/08/il-quotidiano.html>

Page, A. W. (1981). Biaxial Compressive Strength of Brick Masonry. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers (London). Part 1 - Design & Construction*, 71(pt 2), 893–906. <https://doi.org/10.1680/iicep.1981.1825>

Page, J. (1987). Load Tests To Collapse on Two Arch Bridges At Preston, Shropshire and Prestwood, Staffordshire. *Research Report - Transport and Road Research Laboratory.*

Page, J. (1988). *Load Tests to Collapse on Two Arch Bridges at Torksey and Shinafoot.* Retrieved from <https://trl.co.uk/sites/default/files/RR159.pdf>

Pippard, A. J. S. (1936). *The Approximate Estimation of Safe Loads on Masonry Bridges.*

Pluijm, R. van der. (1999). *Out-of-Plane Bending of Masonry Behaviour and Strength.* <https://doi.org/10.6100/IR528212>

Ponte de Trajano. (n.d.). Retrieved November 12, 2019, from [https://monumental.chaves.pt/frontoffice/pages/120?poi\\_id=15](https://monumental.chaves.pt/frontoffice/pages/120?poi_id=15)

Proske, D., & Pieter, V. G. (2009). Safety of Historical Arch Bridges. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Ramos, J. L. F. D. S. (2002). *Análise experimental e numérica de estruturas históricas de alvenaria.* Universidade do Minho.

Rao, S. S. (2004). *The Finite Element Method in Engineering.* Elsevier Science & Technology Books.

Remondino, F. (2011). Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. *Remote Sensing*, 3(6), 1104–1138. <https://doi.org/10.3390/rs3061104>

Rodrigues, N. C. M. de C. (2008). *Reabilitação de Pontes Históricas de Alvenaria.* Instituto Superior Técnico.

Rodrigues, N., & Ramos, A. (FCT/UNL). (2012). *As Obras de Arte Classificadas sob Jurisdição da EP*

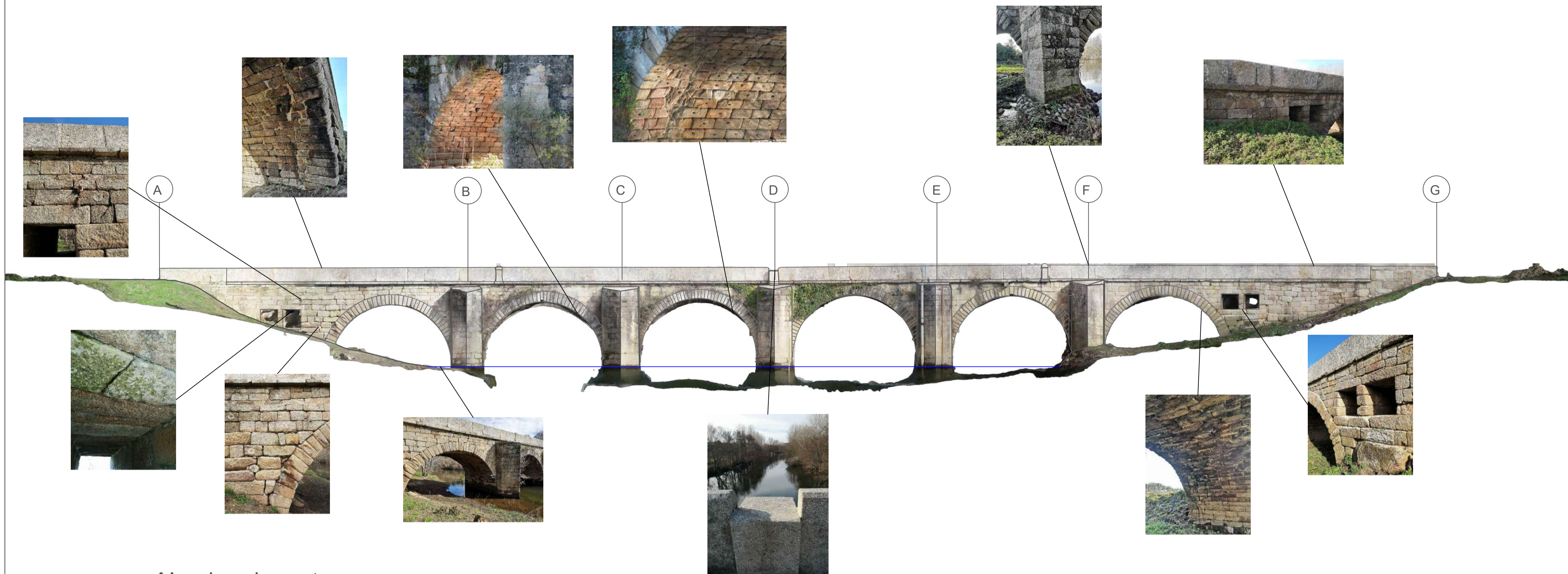
- 
- Estradas de Portugal, S.A. - Metodologias de Manutenção e Reabilitação. *CIREA 2012 Conferência Internacional Sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria*, 63–72.
- Sarhosis, V., De Santis, S., & de Felice, G. (2016). A review of experimental investigations and assessment methods for masonry arch bridges. *Structure and Infrastructure Engineering*, 12(11), 1439–1464. <https://doi.org/10.1080/15732479.2015.1136655>
- Serra, M. C. (2013). *Modelação Numérica de Pontes de Alvenaria de Pedra*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Silva, C. A. R. e. (2016). *Reabilitação de pontes de alvenaria de pedra*.
- Simulia. (2001). ABAQUS / CAE User ' s Manual. *ABAQUS/CAE User's Manual*, 1–847.
- Soutinho, P. (2017). Vias Romanas. Retrieved January 9, 2020, from <http://www.viasromanas.pt/vrinfo.html>
- van Zijl, G. P. A. G. (2004). Modeling masonry shear-compression: Role of dilatancy highlighted. *Journal of Engineering Mechanics*, 130(11), 1289–1296. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2004\)130:11\(1289\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2004)130:11(1289))
- Vasconcelos, G. F. M. (2005). Experimental investigations on the mechanics of stone masonry: Characterization of granites and behavior of ancient masonry shear walls. Instituto Superior Técnico.
- Vasconcelos, G., & Lourenço, P. B. (2009). Experimental characterization of stone masonry in shear and compression. *Construction and Building Materials*, 23(11), 3337–3345. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.06.045>



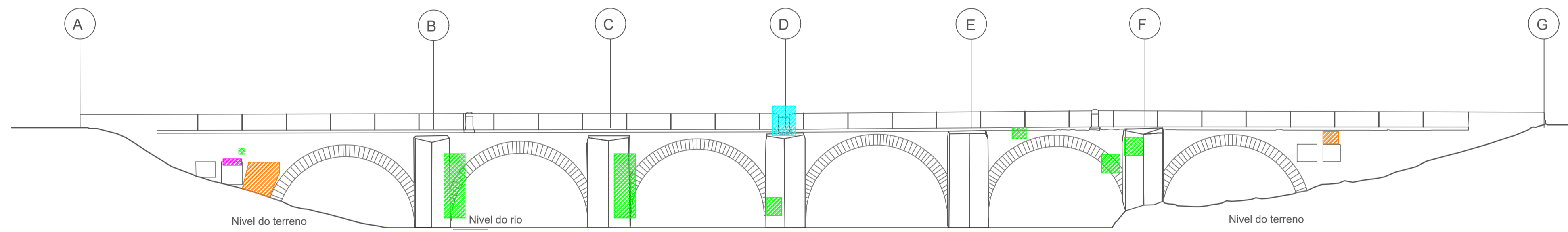
## 9. ANEXOS

- 1- Mapa de Anomalias
- 2- Desenhos Rigorosos da Ponte da Pedra
- 3- Output do *LimitState RING* (LM1 e LM2)

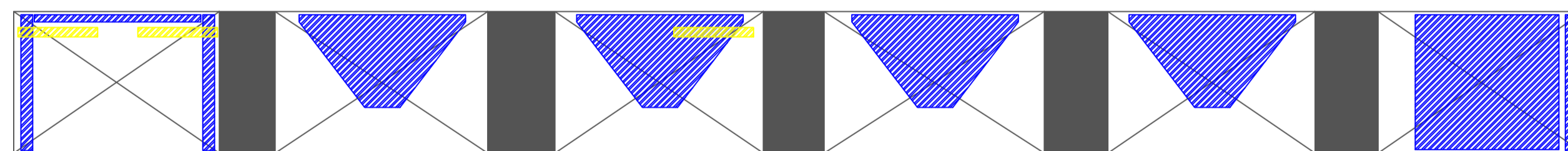
### Alçado a jusante com orto-fotografia



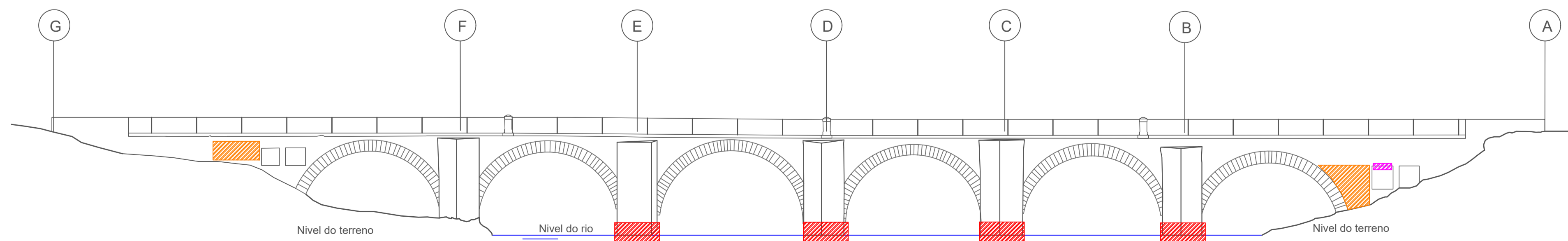
### Alçado a jusante



### Vista inferior dos arcos de acordo com o Alçado a jusante



### Alçado a montante



#### Legenda

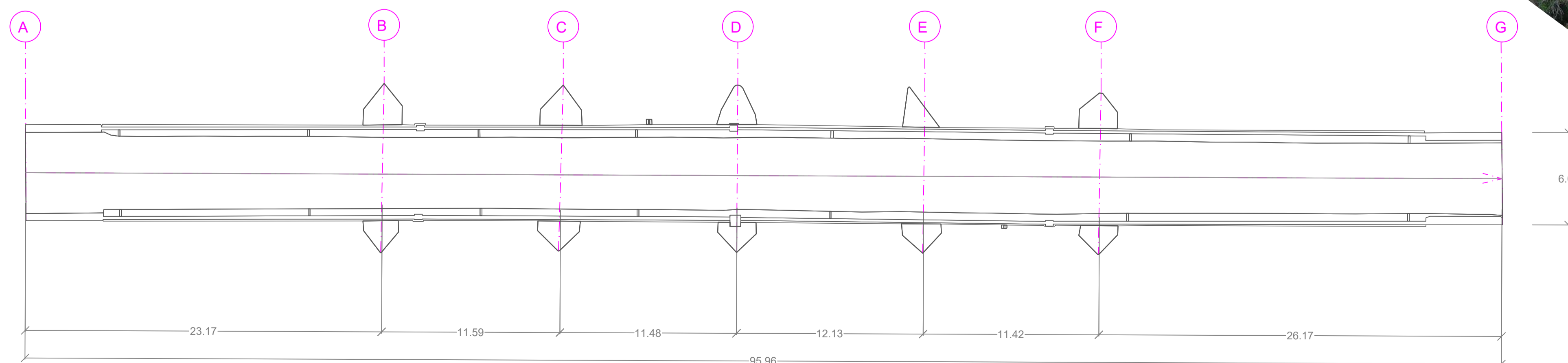
- Nível do terreno
- Nível do rio
- Erosão das juntas
- Descompressão lateral dos arcos
- Deformações nos muros de tímpano
- Lajetas partidas
- Indicador de assentamento de apoio do pilar P3
- Infiltrações nos arcos
- Vegetação na estrutura

Título		DATA	
Mapa de Anomalias da Ponte da Pedra sobre o Rio Tuela		Março 2020	
Autor		Desenho n.º	Folha
Bruno Claudio Vilarinho		1/1	1
		Escala	1:200



Planta da ponte com orto-fotografia e georeferenciação

Planta da ponte romana



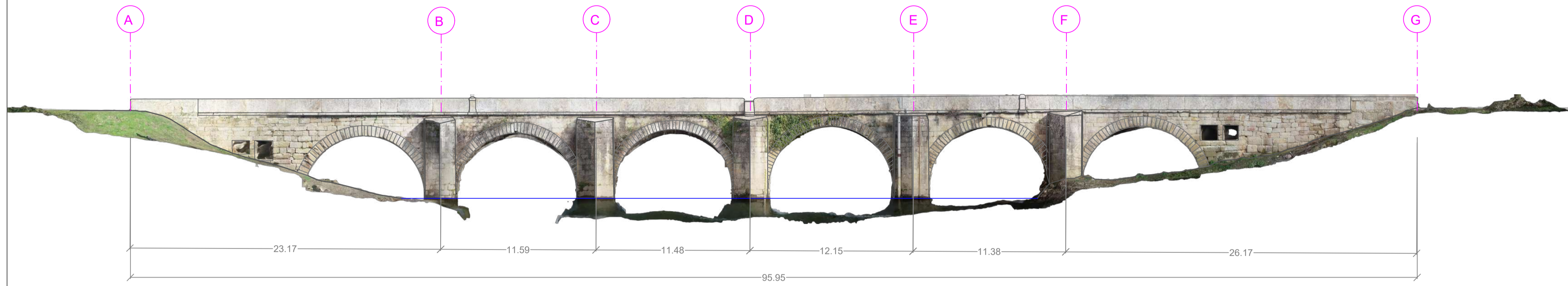
Unidades: metro (m)  
Sistema de projecção geográfica: ETRS89 PT-TM06



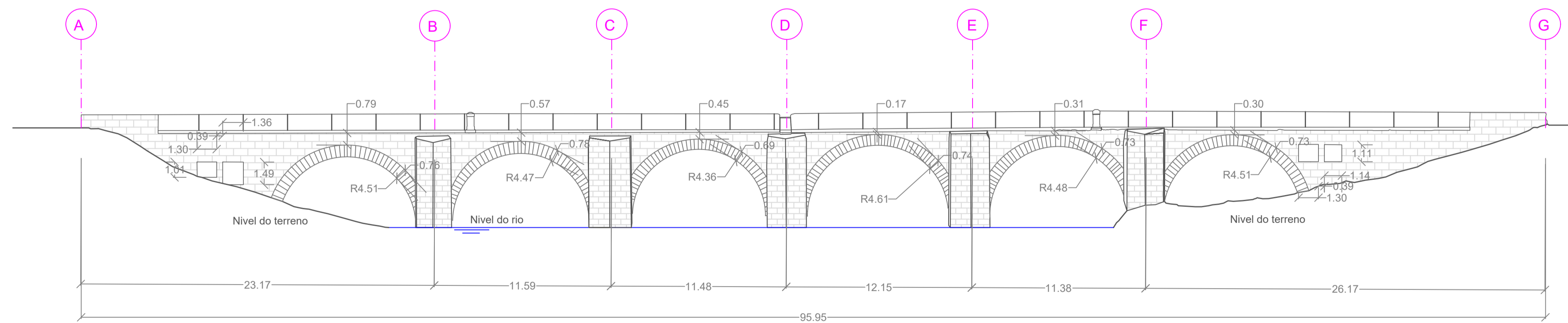
Morada: NERE, PITE, Rua circular norte s/n, 7005-841 Evora  
Tel. +351 966 167 709  
Email: geral@arrow4d.pt  
Web: www.arrow4d.pt

Projecto SNeves / DPedro	Cliente NOVA ID FCT - Associação para a inovação DES.FCT FCT-UNL Campus da Caparica (Caparica)	DATA Março 2020
Desenho SNeves / DPedro	Levantamento topográfico de ponte romana em Torre de Dona Chama, Mirandela.	Desenho n.º <b>1</b>
Visto SNeves		Folha <b>1/04</b> Revisão -
Escalas Planta 1:200	Planta da ponte romana	N.º Arquivo PJ0420 Substituído por:

Alçado a jusante com orto-fotografia



Alçado a jusante



— Nível do terreno  
 — Nível do rio

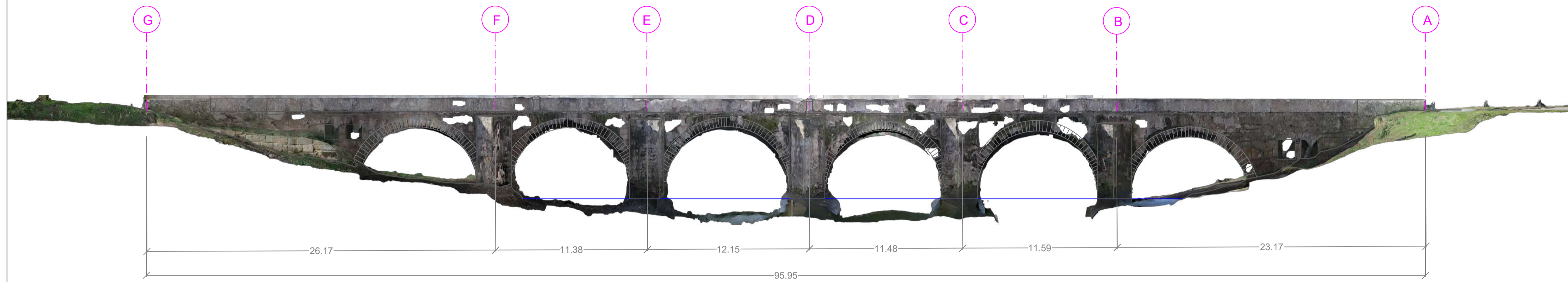
Unidades: metro (m)  
 Sistema de projecção geográfica: ETRS89 PT-TM06



Morada: NERE, PITE, Rua circular norte s/n, 7005-841 Évora  
 Tel. +351 966 167 709  
 Email: geral@arrow4d.pt  
 Web: www.arrow4d.pt

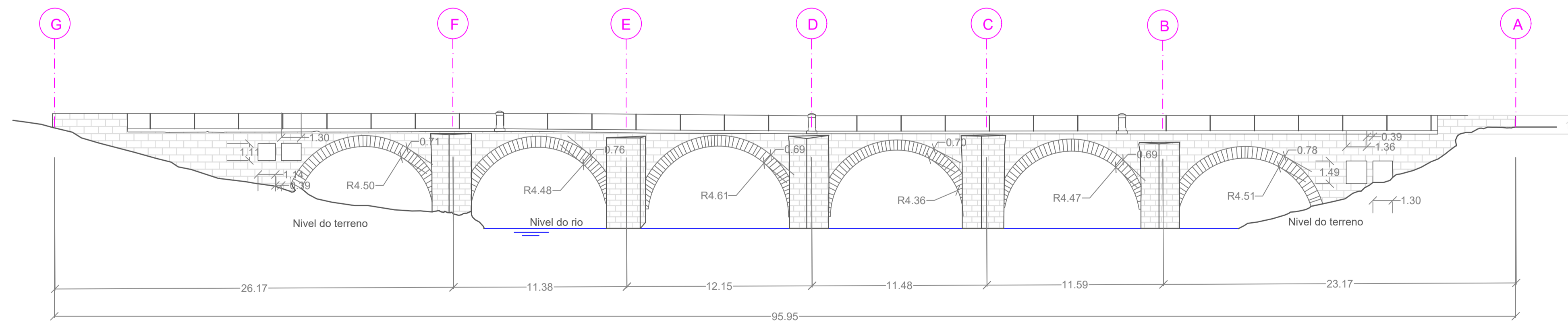
Projecto SNeves / DPedro	Cliente NOVA ID.FCT - Associação para a inovação DES.FCT FCT-UNL, Campus da Caparica (Caparica)	DATA Março 2020
Desenho SNeves / DPedro	Levantamento topográfico de ponte romana em Torre de Dona Chama, Mirandela.	Desenho n.º 2
Visão SNeves		Folha 2/04 Revisão -
Escalas Planta 1:200	Alçado a jusante da ponte romana	N.º Arquivo PJ0420
		Substituído por:

### Alçado a montante com orto-fotografia



— Nível do terreno  
 — Nível do rio

### Alçado a montante



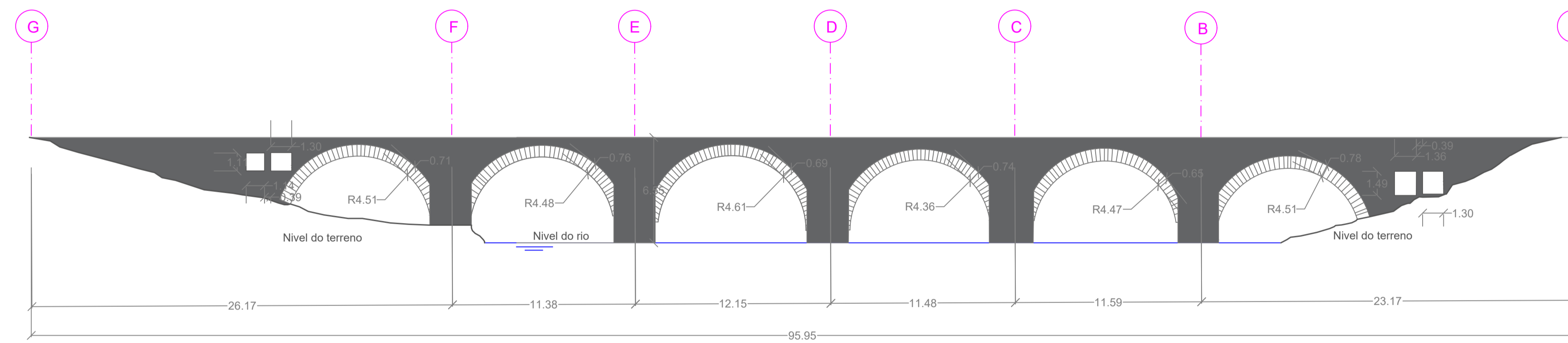
Unidades: metro (m)  
 Sistema de projecção geográfica: ETRS89 PT-TM06



Morada: NERE, PITE, Rua circular norte s/n, 7005-841 Évora  
 Tel. +351 966 167 709  
 Email: geral@arrow4d.pt  
 Web: www.arrow4d.pt

Projecto SNeves / DPedro	Cliente NOVA.ID.FCT - Associação para a inovação DES.FCT FCT-UNL, Campus da Caparica (Caparica)	DATA Março 2020
Desenho SNeves / DPedro	Levantamento topográfico de ponte romana em Torre de Dona Chama, Mirandela.	Desenho n.º <b>3</b>
Visto SNeves		Folha <b>3/04</b> Revisão -
Escalas Planta 1:200	Alçado a montante da ponte romana	N.º Arquivo PJ0420 Substituído por:

Corte no eixo central



— Nível do terreno  
 — Nível do rio

Unidades: metro (m)  
 Sistema de projecção geográfica: ETRS89 PT-TM06



Morada: NERE, PITE, Rua circular norte s/n, 7005-841 Évora  
 Tel. +351 966 167 709  
 Email: geral@arrow4d.pt  
 Web: www.arrow4d.pt

Projecto SNeves / DPedro	Cliente NOVA ID.FCT - Associação para a inovação DES.FCT FCT-UNL Campus da Caparica (Caparica)	DATA Março 2020
Desenho SNeves / DPedro	Levantamento topográfico de ponte romana em Torre de Dona Chama, Mirandela.	Desenho n.º <b>4</b>
Visto SNeves		Folha <b>4/04</b> Revisão -
Escalas Planta 1:200	Corte do eixo central da ponte romana	N.º Arquivo PJ0420 Substituído por:

## Summary

### Details

<b>Bridge name</b> Ponte Rio Tuela FINAL	<b>Location</b>	<b>Reference No.</b>	<b>Map reference</b>
<b>Bridge type</b> Highway	<b>Name of assessor</b>	<b>Assessing organization</b>	<b>Date of assessment</b> Thursday, March 26, 2020
<b>Comments</b>			

### Results

<b>Adequacy factor</b> 21 at load case #1 (this is the critical load case)	<b>Solver used (if not default)</b> CLP solver
---	---

### Mode of Response for Current Load Case



## Units

Unless specified otherwise, the following units are used throughout this report:

<b>Distance</b> mm	<b>Force*</b> kN	<b>Moment*</b> kNm	<b>Angle</b> Degrees	<b>Unit weight</b> kN/m <sup>3</sup>	<b>Material strength</b> N/mm <sup>2</sup>
-----------------------	---------------------	-----------------------	-------------------------	---	---

\* = per metre width

## Geometry

<b>Global:</b>	<b>No. Spans</b> 6	<b>Effective bridge width</b> 5200						
<b>Abutment 0:</b>	<b>Backing Height</b> 5550	<b>Pier Height</b> 1800	<b>Width (Top)</b> 12000	<b>Width (Base)</b> 12000	<b>No. Blocks</b> 8			
<b>Span 1:</b>	<b>Type</b> Stone voussoir	<b>Shape</b> Segmental	<b>No. Rings</b> 1	<b>Span</b> 8950	<b>Midspan rise</b> 4000	<b>Auto-calc. abutment angles?</b> Yes	<b>LHS angle</b> 6.4	<b>RHS angle</b> 6.4
	<b>Ring 1:</b>	<b>No. Blocks</b> 50	<b>Ring thickness</b> 750					
<b>Pier 1:</b>	<b>Backing Height</b> 5550	<b>Pier Height</b> 1800	<b>Width (Top)</b> 2500	<b>Width (Base)</b> 2500	<b>No. Blocks</b> 8			
<b>Span 2:</b>	<b>Type</b>	<b>Shape</b>	<b>No. Rings</b>	<b>Span</b>	<b>Midspan rise</b>	<b>Auto-calc.</b>	<b>LHS angle</b>	<b>RHS angle</b>

	Stone voussoir	Segmental	1	8950	4000	abutment angles? Yes	6.4	6.4
<b>Ring 1:</b>	<b>No. Blocks</b>		<b>Ring thickness</b>					
	50		750					
<b>Pier 2:</b>	<b>Backing Height</b>	<b>Pier Height</b>	<b>Width (Top)</b>	<b>Width (Base)</b>	<b>No. Blocks</b>			
	4870	1800	2500	2500	8			
<b>Span 3:</b>	<b>Type</b>	<b>Shape</b>	<b>No. Rings</b>	<b>Span</b>	<b>Midspan rise</b>	<b>Auto-calc. abutment angles?</b>	<b>LHS angle</b>	<b>RHS angle</b>
	Stone voussoir	Segmental	1	8950	4000	Yes	6.4	6.4
<b>Ring 1:</b>	<b>No. Blocks</b>		<b>Ring thickness</b>					
	50		750					
<b>Pier 3:</b>	<b>Backing Height</b>	<b>Pier Height</b>	<b>Width (Top)</b>	<b>Width (Base)</b>	<b>No. Blocks</b>			
	4870	1800	2500	2500	8			
<b>Span 4:</b>	<b>Type</b>	<b>Shape</b>	<b>No. Rings</b>	<b>Span</b>	<b>Midspan rise</b>	<b>Auto-calc. abutment angles?</b>	<b>LHS angle</b>	<b>RHS angle</b>
	Stone voussoir	Segmental	1	8950	4000	Yes	6.4	6.4
<b>Ring 1:</b>	<b>No. Blocks</b>		<b>Ring thickness</b>					
	50		750					
<b>Pier 4:</b>	<b>Backing Height</b>	<b>Pier Height</b>	<b>Width (Top)</b>	<b>Width (Base)</b>	<b>No. Blocks</b>			
	4870	1800	2500	2500	8			
<b>Span 5:</b>	<b>Type</b>	<b>Shape</b>	<b>No. Rings</b>	<b>Span</b>	<b>Midspan rise</b>	<b>Auto-calc. abutment angles?</b>	<b>LHS angle</b>	<b>RHS angle</b>
	Stone voussoir	Segmental	1	8950	4000	Yes	6.4	6.4
<b>Ring 1:</b>	<b>No. Blocks</b>		<b>Ring thickness</b>					
	50		750					
<b>Pier 5:</b>	<b>Backing Height</b>	<b>Pier Height</b>	<b>Width (Top)</b>	<b>Width (Base)</b>	<b>No. Blocks</b>			
	4870	1800	2500	2500	8			
<b>Span 6:</b>	<b>Type</b>	<b>Shape</b>	<b>No. Rings</b>	<b>Span</b>	<b>Midspan rise</b>	<b>Auto-calc. abutment angles?</b>	<b>LHS angle</b>	<b>RHS angle</b>
	Stone voussoir	Segmental	1	8950	4000	Yes	6.4	6.4
<b>Ring 1:</b>	<b>No. Blocks</b>		<b>Ring thickness</b>					
	50		750					
<b>Abutment 6:</b>	<b>Backing Height</b>	<b>Pier Height</b>	<b>Width (Top)</b>	<b>Width (Base)</b>	<b>No. Blocks</b>			
	4900	1000	16000	16000	3			

## Fill Profile Properties

*Distances measured from left springing point of left span.*

Horizontal distance (x)	Height to surface fill (y)	Surface fill depth (d)	Surface level (y+d)
4000	5550	200	5750
16000	5300	200	5500
27500	5200	200	5400
38500	4900	200	5100
50000	5050	200	5250
61500	5050	200	5250

## Partial Factors

---

### Loads

<b>Masonry unit weight</b>	<b>Fill unit weight</b>	<b>Surface unit weight</b>	<b>Axle load</b>	<b>Dynamic</b>
1	1	1	1	1

### Materials

<b>Masonry strength</b>	<b>Masonry friction</b>
1	1

## Fill Properties

---

### Backfill

<b>Unit weight</b>	<b>Angle of friction</b>	<b>Cohesion</b>
20	30	0
<b>Model dispersion of live load?</b>	<b>Model horizontal 'passive' pressures?</b>	
Yes	Yes	
<b>Dispersion type</b>	<b>Cutoff angle</b>	
Boussinesq	30	
<b>Soil arch interface, friction multiplier</b>	<b>Soil arch interface, cohesion multiplier</b>	
0.524	0.5	
<b>Mobilisation multiplier on Kp (mp)</b>	<b>Mobilisation multiplier on cohesion (mpc)</b>	
0.5	0.05	
<b>Keep mp.Kp &gt; 1?</b>	<b>Auto identify passive zones?</b>	
No	Yes	

### Surface Fill

<b>Unit weight</b>	<b>Load dispersion limiting angle</b>
20	30

## Backing

---

Position	Backing height	Passive pressures modelled?
Abutment 0	5550	Yes
Pier 1	5550	Yes
Pier 2	4870	Yes
Pier 3	4870	Yes
Pier 4	4870	Yes
Pier 5	4870	Yes
Abutment 6	4900	Yes

## Vehicles in Project

---

Name	Axle No.	Load magnitude	Axle position
Default 1kN Single Axle	1	1	0
EU Double Axle (1.30m)	1	88.29	0
EU Double Axle (1.30m)	2	88.29	1300
* CU H1 (38 Tonne, 5 Axle, Articulated)	1	57.49	0
* CU H1 (38 Tonne, 5 Axle, Articulated)	2	103.01	2450
* CU H1 (38 Tonne, 5 Axle, Articulated)	3	58.86	3800
* CU H1 (38 Tonne, 5 Axle, Articulated)	4	76.71	9080
* CU H1 (38 Tonne, 5 Axle, Articulated)	5	76.71	10100
EU Single Axle	1	112.82	0
Carga distribuida	1	16.25	0

Sobrecarga LM1	1	300	0
Sobrecarga LM1	2	300	2000
EU Double Axle (1.00m)	1	78.48	0
EU Double Axle (1.00m)	2	78.48	1000
LM2	1	400	0

## Vehicles in Load Cases

#	Load Case Name	Vehicle(s)	Position	Mirror?	Dynamic Axles
1	Load Case 3	Sobrecarga LM1	49312.9	No	-
1	Load Case 3	Carga distribuida	47800	No	-
1	Load Case 3	Carga distribuida	48300	No	-
1	Load Case 3	Carga distribuida	48800	No	-
1	Load Case 3	Carga distribuida	49300	No	-
1	Load Case 3	Carga distribuida	49800	No	-
1	Load Case 3	Carga distribuida	50300	No	-
1	Load Case 3	Carga distribuida	50800	No	-
1	Load Case 3	Carga distribuida	51300	No	-
1	Load Case 3	Carga distribuida	51800	No	-
1	Load Case 3	Carga distribuida	52300	No	-
1	Load Case 3	Carga distribuida	52800	No	-

## Load Cases

#	Load Case Name	Effective Width	Adequacy Factor
1	Load Case 3	5200	21

## Blocks

Label	Position	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Area	Unit weight	Support	Support movement (V) X/Y/Rot.	Fill force (V)	Fill force (H)
Block 1	Abutment 0	-12000/-225	0/-225	0/0	-12000/0	2700000.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 2	Abutment 0	-12000/-450	0/-450	0/-225	-12000/-225	2700000.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 3	Abutment 0	-12000/-675	0/-675	0/-450	-12000/-450	2700000.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 4	Abutment 0	-12000/-900	0/-900	0/-675	-12000/-675	2700000.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 5	Abutment 0	-12000/-1125	0/-1125	0/-900	-12000/-900	2700000.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 6	Abutment 0	-12000/-1350	0/-1350	0/-1125	-12000/-1125	2700000.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 7	Abutment 0	-12000/-1575	0/-1575	0/-1350	-12000/-1350	2700000.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 8	Abutment 0	-12000/-1800	0/-1800	0/-1575	-12000/-1575	2700000.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 9	Abutment 0	-12000/-5400	2400/-5400	2400/-1800	-12000/-1800	51840000.00	25	X/Y/Rot	0/0/0	0	0
Block 0	Skewback 0	-12000/0	0/0	-745/84	-12000/84	974459.40	25	None	0/0/0	1246.24	0
Block 1	Span 1, Ring 1	0/0	37/260	-702/387	-745/84	213371.34	25	None	0/0/0	4.70	0
Block 2	Span 1, Ring 1	37/260	89/518	-641/688	-702/387	213371.34	25	None	0/0/0	6.26	0
Block 3	Span 1, Ring 1	89/518	156/772	-563/984	-641/688	213371.34	25	None	0/0/0	7.59	0
Block 4	Span 1, Ring 1	156/772	238/1021	-467/1275	-563/984	213371.34	25	None	0/0/0	8.70	0
Block 5	Span 1, Ring 1	238/1021	334/1266	-355/1561	-467/1275	213371.34	25	None	0/0/0	9.59	0
Block 6	Span 1, Ring 1	334/1266	444/1504	-227/1839	-355/1561	213371.34	25	None	0/0/0	10.28	12.25
Block 7	Span 1, Ring 1	444/1504	568/1736	-82/2109	-227/1839	213371.34	25	None	0/0/0	10.77	11.05
Block 8	Span 1, Ring 1	568/1736	705/1960	77/2370	-82/2109	213371.34	25	None	0/0/0	11.08	9.87
Block 9	Span 1, Ring 1	705/1960	855/2176	253/2622	77/2370	213371.34	25	None	0/0/0	11.23	8.72
Block 10	Span 1, Ring 1	855/2176	1018/2382	442/2863	253/2622	213371.34	25	None	0/0/0	11.22	7.61
Block 11	Span 1, Ring 1	1018/2382	1192/2579	645/3092	442/2863	213371.34	25	None	0/0/0	11.09	6.54
Block 12	Span 1, Ring 1	1192/2579	1377/2765	861/3310	645/3092	213371.34	25	None	0/0/0	10.85	5.52
Block 13	Span 1, Ring 1	1377/2765	1573/2940	1090/3514	861/3310	213371.34	25	None	0/0/0	10.51	4.54

Block 14	Span 1, Ring 1	1573/2940	1779/3104	1330/3704	1090/3514	213371.34	25	None	0/0/0	10.11	3.60
Block 15	Span 1, Ring 1	1779/3104	1994/3255	1581/3881	1330/3704	213371.34	25	None	0/0/0	9.66	2.70
Block 16	Span 1, Ring 1	1994/3255	2217/3393	1841/4042	1581/3881	213371.34	25	None	0/0/0	9.17	1.85
Block 17	Span 1, Ring 1	2217/3393	2448/3518	2111/4188	1841/4042	213371.34	25	None	0/0/0	8.68	1.04
Block 18	Span 1, Ring 1	2448/3518	2686/3630	2388/4318	2111/4188	213371.34	25	None	0/0/0	8.19	0.28
Block 19	Span 1, Ring 1	2686/3630	2930/3727	2673/4431	2388/4318	213371.34	25	None	0/0/0	7.73	0
Block 20	Span 1, Ring 1	2930/3727	3180/3810	2964/4528	2673/4431	213371.34	25	None	0/0/0	7.30	0
Block 21	Span 1, Ring 1	3180/3810	3433/3878	3260/4608	2964/4528	213371.34	25	None	0/0/0	6.93	155.25
Block 22	Span 1, Ring 1	3433/3878	3691/3931	3560/4670	3260/4608	213371.34	25	None	0/0/0	6.63	310.81
Block 23	Span 1, Ring 1	3691/3931	3951/3969	3863/4714	3560/4670	213371.34	25	None	0/0/0	6.39	222.77
Block 24	Span 1, Ring 1	3951/3969	4212/3992	4169/4741	3863/4714	213371.34	25	None	0/0/0	6.23	133.97
Block 25	Span 1, Ring 1	4212/3992	4475/4000	4475/4750	4169/4741	213371.34	25	None	0/0/0	6.11	44.71
Block 26	Span 1, Ring 1	4475/4000	4738/3992	4781/4741	4475/4750	213371.34	25	None	0/0/0	6.07	44.71
Block 27	Span 1, Ring 1	4738/3992	4999/3969	5087/4714	4781/4741	213371.34	25	None	0/0/0	6.12	133.97
Block 28	Span 1, Ring 1	4999/3969	5259/3931	5390/4670	5087/4714	213371.34	25	None	0/0/0	6.26	222.77
Block 29	Span 1, Ring 1	5259/3931	5517/3878	5690/4608	5390/4670	213371.34	25	None	0/0/0	6.48	221.08
Block 30	Span 1, Ring 1	5517/3878	5770/3810	5986/4528	5690/4608	213371.34	25	None	0/0/0	6.77	12.68
Block 31	Span 1, Ring 1	5770/3810	6020/3727	6277/4431	5986/4528	213371.34	25	None	0/0/0	7.13	22.14
Block 32	Span 1, Ring 1	6020/3727	6264/3630	6562/4318	6277/4431	213371.34	25	None	0/0/0	7.55	29.84
Block 33	Span 1, Ring 1	6264/3630	6502/3518	6839/4188	6562/4318	213371.34	25	None	0/0/0	8.00	35.52
Block 34	Span 1, Ring 1	6502/3518	6733/3393	7109/4042	6839/4188	213371.34	25	None	0/0/0	8.48	39.13
Block 35	Span 1, Ring 1	6733/3393	6956/3255	7369/3881	7109/4042	213371.34	25	None	0/0/0	8.97	40.81
Block 36	Span 1, Ring 1	6956/3255	7171/3104	7620/3704	7369/3881	213371.34	25	None	0/0/0	9.45	40.79
Block 37	Span 1, Ring 1	7171/3104	7377/2940	7860/3514	7620/3704	213371.34	25	None	0/0/0	9.90	39.44
Block 38	Span 1, Ring 1	7377/2940	7573/2765	8089/3310	7860/3514	213371.34	25	None	0/0/0	10.31	37.15
Block 39	Span 1, Ring 1	7573/2765	7758/2579	8305/3092	8089/3310	213371.34	25	None	0/0/0	10.64	34.30
Block 40	Span 1, Ring 1	7758/2579	7932/2382	8508/2863	8305/3092	213371.34	25	None	0/0/0	10.89	13.98
Block 41	Span 1, Ring 1	7932/2382	8095/2176	8697/2622	8508/2863	213371.34	25	None	0/0/0	11.03	0
Block 42	Span 1, Ring 1	8095/2176	8245/1960	8873/2370	8697/2622	213371.34	25	None	0/0/0	11.04	0
Block 43	Span 1, Ring 1	8245/1960	8382/1736	9033/2109	8873/2370	213371.34	25	None	0/0/0	10.91	0
Block 44	Span 1, Ring 1	8382/1736	8506/1504	9177/1839	9033/2109	213371.34	25	None	0/0/0	10.61	0
Block 45	Span 1, Ring 1	8506/1504	8616/1266	9306/1561	9177/1839	213371.34	25	None	0/0/0	10.14	0
Block 46	Span 1, Ring 1	8616/1266	8712/1021	9418/1275	9306/1561	213371.34	25	None	0/0/0	9.47	0
Block 47	Span 1, Ring 1	8712/1021	8794/772	9513/984	9418/1275	213371.34	25	None	0/0/0	8.59	0
Block 48	Span 1, Ring 1	8794/772	8861/518	9591/688	9513/984	213371.34	25	None	0/0/0	7.50	0
Block 49	Span 1, Ring 1	8861/518	8913/260	9652/387	9591/688	213371.34	25	None	0/0/0	6.19	171.77
Block 50	Span 1, Ring 1	8913/260	8950/0	9695/84	9652/387	213371.34	25	None	0/0/0	4.65	94.34
Block 1	Pier 1	8950/-225	11450/-225	11450/0	8950/0	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 2	Pier 1	8950/-450	11450/-450	11450/-225	8950/-225	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 3	Pier 1	8950/-675	11450/-675	11450/-450	8950/-450	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 4	Pier 1	8950/-900	11450/-900	11450/-675	8950/-675	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 5	Pier 1	8950/-1125	11450/-1125	11450/-900	8950/-900	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 6	Pier 1	8950/-1350	11450/-1350	11450/-1125	8950/-1125	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 7	Pier 1	8950/-1575	11450/-1575	11450/-1350	8950/-1350	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 8	Pier 1	8950/-1800	11450/-1800	11450/-1575	8950/-1575	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 9	Pier 1	8450/-2550	11950/-2550	11950/-1800	8450/-1800	2625000.00	25	X/Y/Rot	0/0/0	0	0
Block 0	Skewback 1	8950/0	11450/0	10705/84	9695/84	147056.84	25	None	0/0/0	111.78	0

Block 1	Span 2, Ring 1	11450/0	11487/260	10748/387	10705/84	213371.34	25	None	0/0/0	4.63	94.34
Block 2	Span 2, Ring 1	11487/260	11539/518	10809/688	10748/387	213371.34	25	None	0/0/0	6.16	171.77
Block 3	Span 2, Ring 1	11539/518	11606/772	10887/984	10809/688	213371.34	25	None	0/0/0	7.46	0
Block 4	Span 2, Ring 1	11606/772	11688/1021	10982/1275	10887/984	213371.34	25	None	0/0/0	8.53	0
Block 5	Span 2, Ring 1	11688/1021	11784/1266	11094/1561	10982/1275	213371.34	25	None	0/0/0	9.39	0
Block 6	Span 2, Ring 1	11784/1266	11894/1504	11223/1839	11094/1561	213371.34	25	None	0/0/0	10.03	0
Block 7	Span 2, Ring 1	11894/1504	12018/1736	11367/2109	11223/1839	213371.34	25	None	0/0/0	10.48	0
Block 8	Span 2, Ring 1	12018/1736	12155/1960	11527/2370	11367/2109	213371.34	25	None	0/0/0	10.74	0
Block 9	Span 2, Ring 1	12155/1960	12305/2176	11703/2622	11527/2370	213371.34	25	None	0/0/0	10.84	0
Block 10	Span 2, Ring 1	12305/2176	12468/2382	11892/2863	11703/2622	213371.34	25	None	0/0/0	10.78	0
Block 11	Span 2, Ring 1	12468/2382	12642/2579	12095/3092	11892/2863	213371.34	25	None	0/0/0	10.59	13.98
Block 12	Span 2, Ring 1	12642/2579	12827/2765	12311/3310	12095/3092	213371.34	25	None	0/0/0	10.28	34.30
Block 13	Span 2, Ring 1	12827/2765	13023/2940	12540/3514	12311/3310	213371.34	25	None	0/0/0	9.88	37.15
Block 14	Span 2, Ring 1	13023/2940	13229/3104	12780/3704	12540/3514	213371.34	25	None	0/0/0	9.41	39.44
Block 15	Span 2, Ring 1	13229/3104	13444/3255	13031/3881	12780/3704	213371.34	25	None	0/0/0	8.89	40.79
Block 16	Span 2, Ring 1	13444/3255	13667/3393	13291/4042	13031/3881	213371.34	25	None	0/0/0	8.33	40.81
Block 17	Span 2, Ring 1	13667/3393	13898/3518	13561/4188	13291/4042	213371.34	25	None	0/0/0	7.76	39.13
Block 18	Span 2, Ring 1	13898/3518	14136/3630	13838/4318	13561/4188	213371.34	25	None	0/0/0	7.19	35.52
Block 19	Span 2, Ring 1	14136/3630	14380/3727	14123/4431	13838/4318	213371.34	25	None	0/0/0	6.65	29.84
Block 20	Span 2, Ring 1	14380/3727	14630/3810	14414/4528	14123/4431	213371.34	25	None	0/0/0	6.15	22.14
Block 21	Span 2, Ring 1	14630/3810	14883/3878	14710/4608	14414/4528	213371.34	25	None	0/0/0	5.70	12.68
Block 22	Span 2, Ring 1	14883/3878	15141/3931	15010/4670	14710/4608	213371.34	25	None	0/0/0	5.31	221.08
Block 23	Span 2, Ring 1	15141/3931	15401/3969	15313/4714	15010/4670	213371.34	25	None	0/0/0	5.01	222.77
Block 24	Span 2, Ring 1	15401/3969	15662/3992	15619/4741	15313/4714	213371.34	25	None	0/0/0	4.78	133.97
Block 25	Span 2, Ring 1	15662/3992	15925/4000	15925/4750	15619/4741	213371.34	25	None	0/0/0	4.65	44.71
Block 26	Span 2, Ring 1	15925/4000	16188/3992	16231/4741	15925/4750	213371.34	25	None	0/0/0	4.62	0
Block 27	Span 2, Ring 1	16188/3992	16449/3969	16537/4714	16231/4741	213371.34	25	None	0/0/0	4.70	133.97
Block 28	Span 2, Ring 1	16449/3969	16709/3931	16840/4670	16537/4714	213371.34	25	None	0/0/0	4.86	222.77
Block 29	Span 2, Ring 1	16709/3931	16967/3878	17140/4608	16840/4670	213371.34	25	None	0/0/0	5.12	310.81
Block 30	Span 2, Ring 1	16967/3878	17220/3810	17436/4528	17140/4608	213371.34	25	None	0/0/0	5.45	315.59
Block 31	Span 2, Ring 1	17220/3810	17470/3727	17727/4431	17436/4528	213371.34	25	None	0/0/0	5.86	39.00
Block 32	Span 2, Ring 1	17470/3727	17714/3630	18012/4318	17727/4431	213371.34	25	None	0/0/0	6.32	38.33
Block 33	Span 2, Ring 1	17714/3630	17952/3518	18289/4188	18012/4318	213371.34	25	None	0/0/0	6.82	36.30
Block 34	Span 2, Ring 1	17952/3518	18183/3393	18559/4042	18289/4188	213371.34	25	None	0/0/0	7.35	33.21
Block 35	Span 2, Ring 1	18183/3393	18406/3255	18819/3881	18559/4042	213371.34	25	None	0/0/0	7.90	2.63
Block 36	Span 2, Ring 1	18406/3255	18621/3104	19070/3704	18819/3881	213371.34	25	None	0/0/0	8.43	0
Block 37	Span 2, Ring 1	18621/3104	18827/2940	19310/3514	19070/3704	213371.34	25	None	0/0/0	8.94	0
Block 38	Span 2, Ring 1	18827/2940	19023/2765	19539/3310	19310/3514	213371.34	25	None	0/0/0	9.41	0
Block 39	Span 2, Ring 1	19023/2765	19208/2579	19755/3092	19539/3310	213371.34	25	None	0/0/0	9.80	0
Block 40	Span 2, Ring 1	19208/2579	19382/2382	19958/2863	19755/3092	213371.34	25	None	0/0/0	10.11	36.09
Block 41	Span 2, Ring 1	19382/2382	19545/2176	20147/2622	19958/2863	213371.34	25	None	0/0/0	10.31	0
Block 42	Span 2, Ring 1	19545/2176	19695/1960	20323/2370	20147/2622	213371.34	25	None	0/0/0	10.39	0
Block 43	Span 2, Ring 1	19695/1960	19832/1736	20483/2109	20323/2370	213371.34	25	None	0/0/0	10.32	29.87

Block 44	Span 2, Ring 1	19832/1736	19956/1504	20627/1839	20483/2109	213371.34	25	None	0/0/0	10.08	25.96
Block 45	Span 2, Ring 1	19956/1504	20066/1266	20756/1561	20627/1839	213371.34	25	None	0/0/0	9.67	46.20
Block 46	Span 2, Ring 1	20066/1266	20162/1021	20868/1275	20756/1561	213371.34	25	None	0/0/0	9.06	-0.00
Block 47	Span 2, Ring 1	20162/1021	20244/772	20963/984	20868/1275	213371.34	25	None	0/0/0	8.25	0
Block 48	Span 2, Ring 1	20244/772	20311/518	21041/688	20963/984	213371.34	25	None	0/0/0	7.22	0
Block 49	Span 2, Ring 1	20311/518	20363/260	21102/387	21041/688	213371.34	25	None	0/0/0	5.98	37.80
Block 50	Span 2, Ring 1	20363/260	20400/0	21145/84	21102/387	213371.34	25	None	0/0/0	4.50	0
Block 1	Pier 2	20400/-225	22900/-225	22900/0	20400/0	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 2	Pier 2	20400/-450	22900/-450	22900/-225	20400/-225	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 3	Pier 2	20400/-675	22900/-675	22900/-450	20400/-450	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 4	Pier 2	20400/-900	22900/-900	22900/-675	20400/-675	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 5	Pier 2	20400/-1125	22900/-1125	22900/-900	20400/-900	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 6	Pier 2	20400/-1350	22900/-1350	22900/-1125	20400/-1125	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 7	Pier 2	20400/-1575	22900/-1575	22900/-1350	20400/-1350	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 8	Pier 2	20400/-1800	22900/-1800	22900/-1575	20400/-1575	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 9	Pier 2	19900/-2550	23400/-2550	23400/-1800	19900/-1800	2625000.00	25	X/Y/Rot	0/0/0	0	0
Block 0	Skewback 2	20400/0	22900/0	22155/84	21145/84	147056.84	25	None	0/0/0	108.35	0
Block 1	Span 3, Ring 1	22900/0	22937/260	22198/387	22155/84	213371.34	25	None	0/0/0	4.49	0
Block 2	Span 3, Ring 1	22937/260	22989/518	22259/688	22198/387	213371.34	25	None	0/0/0	5.96	37.80
Block 3	Span 3, Ring 1	22989/518	23056/772	22337/984	22259/688	213371.34	25	None	0/0/0	7.21	0
Block 4	Span 3, Ring 1	23056/772	23138/1021	22432/1275	22337/984	213371.34	25	None	0/0/0	8.22	0
Block 5	Span 3, Ring 1	23138/1021	23234/1266	22544/1561	22432/1275	213371.34	25	None	0/0/0	9.03	-0.00
Block 6	Span 3, Ring 1	23234/1266	23344/1504	22673/1839	22544/1561	213371.34	25	None	0/0/0	9.63	46.20
Block 7	Span 3, Ring 1	23344/1504	23468/1736	22817/2109	22673/1839	213371.34	25	None	0/0/0	10.03	25.96
Block 8	Span 3, Ring 1	23468/1736	23605/1960	22977/2370	22817/2109	213371.34	25	None	0/0/0	10.25	29.87
Block 9	Span 3, Ring 1	23605/1960	23755/2176	23153/2622	22977/2370	213371.34	25	None	0/0/0	10.30	0
Block 10	Span 3, Ring 1	23755/2176	23918/2382	23342/2863	23153/2622	213371.34	25	None	0/0/0	10.21	0
Block 11	Span 3, Ring 1	23918/2382	24092/2579	23545/3092	23342/2863	213371.34	25	None	0/0/0	9.99	36.09
Block 12	Span 3, Ring 1	24092/2579	24277/2765	23761/3310	23545/3092	213371.34	25	None	0/0/0	9.65	0
Block 13	Span 3, Ring 1	24277/2765	24473/2940	23990/3514	23761/3310	213371.34	25	None	0/0/0	9.23	0
Block 14	Span 3, Ring 1	24473/2940	24679/3104	24230/3704	23990/3514	213371.34	25	None	0/0/0	8.74	0
Block 15	Span 3, Ring 1	24679/3104	24894/3255	24481/3881	24230/3704	213371.34	25	None	0/0/0	8.20	0
Block 16	Span 3, Ring 1	24894/3255	25117/3393	24741/4042	24481/3881	213371.34	25	None	0/0/0	7.63	2.63
Block 17	Span 3, Ring 1	25117/3393	25348/3518	25011/4188	24741/4042	213371.34	25	None	0/0/0	7.05	33.21
Block 18	Span 3, Ring 1	25348/3518	25586/3630	25288/4318	25011/4188	213371.34	25	None	0/0/0	6.48	36.30
Block 19	Span 3, Ring 1	25586/3630	25830/3727	25573/4431	25288/4318	213371.34	25	None	0/0/0	5.94	38.33
Block 20	Span 3, Ring 1	25830/3727	26080/3810	25864/4528	25573/4431	213371.34	25	None	0/0/0	5.44	39.00
Block 21	Span 3, Ring 1	26080/3810	26333/3878	26160/4608	25864/4528	213371.34	25	None	0/0/0	5.00	315.59
Block 22	Span 3, Ring 1	26333/3878	26591/3931	26460/4670	26160/4608	213371.34	25	None	0/0/0	4.63	310.81
Block 23	Span 3, Ring 1	26591/3931	26851/3969	26763/4714	26460/4670	213371.34	25	None	0/0/0	4.34	222.77
Block 24	Span 3, Ring 1	26851/3969	27112/3992	27069/4741	26763/4714	213371.34	25	None	0/0/0	4.14	133.97
Block 25	Span 3, Ring 1	27112/3992	27375/4000	27375/4750	27069/4741	213371.34	25	None	0/0/0	4.02	0
Block 26	Span 3, Ring 1	27375/4000	27638/3992	27681/4741	27375/4750	213371.34	25	None	0/0/0	4.00	39.40
Block 27	Span 3, Ring 1	27638/3992	27899/3969	27987/4714	27681/4741	213371.34	25	None	0/0/0	4.05	133.97
Block 28	Span 3, Ring 1	27899/3969	28159/3931	28290/4670	27987/4714	213371.34	25	None	0/0/0	4.19	101.16
Block 29	Span 3, Ring 1	28159/3931	28417/3878	28590/4608	28290/4670	213371.34	25	None	0/0/0	4.42	113.30
Block 30	Span 3, Ring 1	28417/3878	28670/3810	28886/4528	28590/4608	213371.34	25	None	0/0/0	4.73	119.09

Block 31	Span 3, Ring 1	28670/3810	28920/3727	29177/4431	28886/4528	213371.34	25	None	0/0/0	5.11	119.12
Block 32	Span 3, Ring 1	28920/3727	29164/3630	29462/4318	29177/4431	213371.34	25	None	0/0/0	5.56	41.30
Block 33	Span 3, Ring 1	29164/3630	29402/3518	29739/4188	29462/4318	213371.34	25	None	0/0/0	6.05	0
Block 34	Span 3, Ring 1	29402/3518	29633/3393	30009/4042	29739/4188	213371.34	25	None	0/0/0	6.58	0
Block 35	Span 3, Ring 1	29633/3393	29856/3255	30269/3881	30009/4042	213371.34	25	None	0/0/0	7.12	0
Block 36	Span 3, Ring 1	29856/3255	30071/3104	30520/3704	30269/3881	213371.34	25	None	0/0/0	7.67	612.03
Block 37	Span 3, Ring 1	30071/3104	30277/2940	30760/3514	30520/3704	213371.34	25	None	0/0/0	8.19	-0.00
Block 38	Span 3, Ring 1	30277/2940	30473/2765	30989/3310	30760/3514	213371.34	25	None	0/0/0	8.67	0
Block 39	Span 3, Ring 1	30473/2765	30658/2579	31205/3092	30989/3310	213371.34	25	None	0/0/0	9.08	0
Block 40	Span 3, Ring 1	30658/2579	30832/2382	31408/2863	31205/3092	213371.34	25	None	0/0/0	9.42	0
Block 41	Span 3, Ring 1	30832/2382	30995/2176	31597/2622	31408/2863	213371.34	25	None	0/0/0	9.66	0
Block 42	Span 3, Ring 1	30995/2176	31145/1960	31773/2370	31597/2622	213371.34	25	None	0/0/0	9.77	0
Block 43	Span 3, Ring 1	31145/1960	31282/1736	31933/2109	31773/2370	213371.34	25	None	0/0/0	9.74	0
Block 44	Span 3, Ring 1	31282/1736	31406/1504	32077/1839	31933/2109	213371.34	25	None	0/0/0	9.55	0
Block 45	Span 3, Ring 1	31406/1504	31516/1266	32206/1561	32077/1839	213371.34	25	None	0/0/0	9.19	0
Block 46	Span 3, Ring 1	31516/1266	31612/1021	32318/1275	32206/1561	213371.34	25	None	0/0/0	8.64	0
Block 47	Span 3, Ring 1	31612/1021	31694/772	32413/984	32318/1275	213371.34	25	None	0/0/0	7.89	0
Block 48	Span 3, Ring 1	31694/772	31761/518	32491/688	32413/984	213371.34	25	None	0/0/0	6.92	0
Block 49	Span 3, Ring 1	31761/518	31813/260	32552/387	32491/688	213371.34	25	None	0/0/0	5.74	0
Block 50	Span 3, Ring 1	31813/260	31850/0	32595/84	32552/387	213371.34	25	None	0/0/0	4.33	0
Block 1	Pier 3	31850/-225	34350/-225	34350/0	31850/0	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 2	Pier 3	31850/-450	34350/-450	34350/-225	31850/-225	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 3	Pier 3	31850/-675	34350/-675	34350/-450	31850/-450	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 4	Pier 3	31850/-900	34350/-900	34350/-675	31850/-675	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 5	Pier 3	31850/-1125	34350/-1125	34350/-900	31850/-900	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 6	Pier 3	31850/-1350	34350/-1350	34350/-1125	31850/-1125	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 7	Pier 3	31850/-1575	34350/-1575	34350/-1350	31850/-1350	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 8	Pier 3	31850/-1800	34350/-1800	34350/-1575	31850/-1575	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 9	Pier 3	31350/-2550	34850/-2550	34850/-1800	31350/-1800	2625000.00	25	X/Y/Rot	0/0/0	0	0
Block 0	Skewback 3	31850/0	34350/0	33605/84	32595/84	147056.84	25	None	0/0/0	104.24	0
Block 1	Span 4, Ring 1	34350/0	34387/260	33648/387	33605/84	213371.34	25	None	0/0/0	4.31	0
Block 2	Span 4, Ring 1	34387/260	34439/518	33709/688	33648/387	213371.34	25	None	0/0/0	5.70	0
Block 3	Span 4, Ring 1	34439/518	34506/772	33787/984	33709/688	213371.34	25	None	0/0/0	6.87	0
Block 4	Span 4, Ring 1	34506/772	34588/1021	33882/1275	33787/984	213371.34	25	None	0/0/0	7.81	0
Block 5	Span 4, Ring 1	34588/1021	34684/1266	33994/1561	33882/1275	213371.34	25	None	0/0/0	8.54	0
Block 6	Span 4, Ring 1	34684/1266	34794/1504	34123/1839	33994/1561	213371.34	25	None	0/0/0	9.06	0
Block 7	Span 4, Ring 1	34794/1504	34918/1736	34267/2109	34123/1839	213371.34	25	None	0/0/0	9.38	0
Block 8	Span 4, Ring 1	34918/1736	35055/1960	34427/2370	34267/2109	213371.34	25	None	0/0/0	9.52	0
Block 9	Span 4, Ring 1	35055/1960	35205/2176	34603/2622	34427/2370	213371.34	25	None	0/0/0	9.50	0
Block 10	Span 4, Ring 1	35205/2176	35368/2382	34792/2863	34603/2622	213371.34	25	None	0/0/0	9.33	0
Block 11	Span 4, Ring 1	35368/2382	35542/2579	34995/3092	34792/2863	213371.34	25	None	0/0/0	9.02	0
Block 12	Span 4, Ring 1	35542/2579	35727/2765	35211/3310	34995/3092	213371.34	25	None	0/0/0	8.61	0
Block 13	Span 4, Ring 1	35727/2765	35923/2940	35440/3514	35211/3310	213371.34	25	None	0/0/0	8.11	0
Block 14	Span 4, Ring 1	35923/2940	36129/3104	35680/3704	35440/3514	213371.34	25	None	0/0/0	7.54	-0.00
Block 15	Span 4, Ring 1	36129/3104	36344/3255	35931/3881	35680/3704	213371.34	25	None	0/0/0	6.93	612.03
Block 16	Span 4, Ring 1	36344/3255	36567/3393	36191/4042	35931/3881	213371.34	25	None	0/0/0	6.28	0
Block 17	Span 4, Ring 1	36567/3393	36798/3518	36461/4188	36191/4042	213371.34	25	None	0/0/0	5.63	0

Block 18	Span 4, Ring 1	36798/3518	37036/3630	36738/4318	36461/4188	213371.34	25	None	0/0/0	4.99	0
Block 19	Span 4, Ring 1	37036/3630	37280/3727	37023/4431	36738/4318	213371.34	25	None	0/0/0	4.38	41.30
Block 20	Span 4, Ring 1	37280/3727	37530/3810	37314/4528	37023/4431	213371.34	25	None	0/0/0	3.82	119.12
Block 21	Span 4, Ring 1	37530/3810	37783/3878	37610/4608	37314/4528	213371.34	25	None	0/0/0	3.32	119.09
Block 22	Span 4, Ring 1	37783/3878	38041/3931	37910/4670	37610/4608	213371.34	25	None	0/0/0	2.89	113.30
Block 23	Span 4, Ring 1	38041/3931	38301/3969	38213/4714	37910/4670	213371.34	25	None	0/0/0	2.55	101.16
Block 24	Span 4, Ring 1	38301/3969	38562/3992	38519/4741	38213/4714	213371.34	25	None	0/0/0	2.30	133.97
Block 25	Span 4, Ring 1	38562/3992	38825/4000	38825/4750	38519/4741	213371.34	25	None	0/0/0	2.19	39.40
Block 26	Span 4, Ring 1	38825/4000	39088/3992	39131/4741	38825/4750	213371.34	25	None	0/0/0	2.21	0
Block 27	Span 4, Ring 1	39088/3992	39349/3969	39437/4714	39131/4741	213371.34	25	None	0/0/0	2.34	0
Block 28	Span 4, Ring 1	39349/3969	39609/3931	39740/4670	39437/4714	213371.34	25	None	0/0/0	2.56	28.81
Block 29	Span 4, Ring 1	39609/3931	39867/3878	40040/4608	39740/4670	213371.34	25	None	0/0/0	2.88	54.83
Block 30	Span 4, Ring 1	39867/3878	40120/3810	40336/4528	40040/4608	213371.34	25	None	0/0/0	3.28	75.92
Block 31	Span 4, Ring 1	40120/3810	40370/3727	40627/4431	40336/4528	213371.34	25	None	0/0/0	3.76	91.10
Block 32	Span 4, Ring 1	40370/3727	40614/3630	40912/4318	40627/4431	213371.34	25	None	0/0/0	4.30	100.20
Block 33	Span 4, Ring 1	40614/3630	40852/3518	41189/4188	40912/4318	213371.34	25	None	0/0/0	4.89	103.67
Block 34	Span 4, Ring 1	40852/3518	41083/3393	41459/4042	41189/4188	213371.34	25	None	0/0/0	5.51	102.34
Block 35	Span 4, Ring 1	41083/3393	41306/3255	41719/3881	41459/4042	213371.34	25	None	0/0/0	6.14	33.71
Block 36	Span 4, Ring 1	41306/3255	41521/3104	41970/3704	41719/3881	213371.34	25	None	0/0/0	6.78	0
Block 37	Span 4, Ring 1	41521/3104	41727/2940	42210/3514	41970/3704	213371.34	25	None	0/0/0	7.38	0
Block 38	Span 4, Ring 1	41727/2940	41923/2765	42439/3310	42210/3514	213371.34	25	None	0/0/0	7.94	9.19
Block 39	Span 4, Ring 1	41923/2765	42108/2579	42655/3092	42439/3310	213371.34	25	None	0/0/0	8.44	86.60
Block 40	Span 4, Ring 1	42108/2579	42282/2382	42858/2863	42655/3092	213371.34	25	None	0/0/0	8.85	134.65
Block 41	Span 4, Ring 1	42282/2382	42445/2176	43047/2622	42858/2863	213371.34	25	None	0/0/0	9.15	157.01
Block 42	Span 4, Ring 1	42445/2176	42595/1960	43223/2370	43047/2622	213371.34	25	None	0/0/0	9.33	163.10
Block 43	Span 4, Ring 1	42595/1960	42732/1736	43383/2109	43223/2370	213371.34	25	None	0/0/0	9.36	153.56
Block 44	Span 4, Ring 1	42732/1736	42856/1504	43527/1839	43383/2109	213371.34	25	None	0/0/0	9.23	0
Block 45	Span 4, Ring 1	42856/1504	42966/1266	43656/1561	43527/1839	213371.34	25	None	0/0/0	8.92	0
Block 46	Span 4, Ring 1	42966/1266	43062/1021	43768/1275	43656/1561	213371.34	25	None	0/0/0	8.41	0
Block 47	Span 4, Ring 1	43062/1021	43144/772	43863/984	43768/1275	213371.34	25	None	0/0/0	7.70	0
Block 48	Span 4, Ring 1	43144/772	43211/518	43941/688	43863/984	213371.34	25	None	0/0/0	6.78	0
Block 49	Span 4, Ring 1	43211/518	43263/260	44002/387	43941/688	213371.34	25	None	0/0/0	5.63	0
Block 50	Span 4, Ring 1	43263/260	43300/0	44045/84	44002/387	213371.34	25	None	0/0/0	4.26	0
Block 1	Pier 4	43300/-225	45800/-225	45800/0	43300/0	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 2	Pier 4	43300/-450	45800/-450	45800/-225	43300/-225	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 3	Pier 4	43300/-675	45800/-675	45800/-450	43300/-450	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 4	Pier 4	43300/-900	45800/-900	45800/-675	43300/-675	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 5	Pier 4	43300/-1125	45800/-1125	45800/-900	43300/-900	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 6	Pier 4	43300/-1350	45800/-1350	45800/-1125	43300/-1125	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 7	Pier 4	43300/-1575	45800/-1575	45800/-1350	43300/-1350	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 8	Pier 4	43300/-1800	45800/-1800	45800/-1575	43300/-1575	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 9	Pier 4	42800/-2550	46300/-2550	46300/-1800	42800/-1800	2625000.00	25	X/Y/Rot	0/0/0	0	0
Block 0	Skewback 4	43300/0	45800/0	45055/84	44045/84	147056.84	25	None	0/0/0	102.86	0
Block 1	Span 5, Ring 1	45800/0	45837/260	45098/387	45055/84	213371.34	25	None	0/0/0	4.27	0
Block 2	Span 5, Ring 1	45837/260	45889/518	45159/688	45098/387	213371.34	25	None	0/0/0	5.65	0
Block 3	Span 5, Ring 1	45889/518	45956/772	45237/984	45159/688	213371.34	25	None	0/0/0	6.80	0
Block 4	Span 5, Ring 1	45956/772	46038/1021	45332/1275	45237/984	213371.34	25	None	0/0/0	7.74	0

Block 5	Span 5, Ring 1	46038/1021	46134/1266	45444/1561	45332/1275	213371.34	25	None	0/0/0	8.46	0
Block 6	Span 5, Ring 1	46134/1266	46244/1504	45573/1839	45444/1561	213371.34	25	None	0/0/0	8.98	0
Block 7	Span 5, Ring 1	46244/1504	46368/1736	45717/2109	45573/1839	213371.34	25	None	0/0/0	9.31	0
Block 8	Span 5, Ring 1	46368/1736	46505/1960	45877/2370	45717/2109	213371.34	25	None	0/0/0	9.46	153.56
Block 9	Span 5, Ring 1	46505/1960	46655/2176	46053/2622	45877/2370	213371.34	25	None	0/0/0	9.46	163.10
Block 10	Span 5, Ring 1	46655/2176	46818/2382	46242/2863	46053/2622	213371.34	25	None	0/0/0	9.31	157.01
Block 11	Span 5, Ring 1	46818/2382	46992/2579	46445/3092	46242/2863	213371.34	25	None	0/0/0	9.04	134.65
Block 12	Span 5, Ring 1	46992/2579	47177/2765	46661/3310	46445/3092	213371.34	25	None	0/0/0	8.67	86.60
Block 13	Span 5, Ring 1	47177/2765	47373/2940	46890/3514	46661/3310	213371.34	25	None	0/0/0	8.21	9.19
Block 14	Span 5, Ring 1	47373/2940	47579/3104	47130/3704	46890/3514	213371.34	25	None	0/0/0	7.69	0
Block 15	Span 5, Ring 1	47579/3104	47794/3255	47381/3881	47130/3704	213371.34	25	None	0/0/0	7.13	0
Block 16	Span 5, Ring 1	47794/3255	48017/3393	47641/4042	47381/3881	213371.34	25	None	0/0/0	6.55	33.71
Block 17	Span 5, Ring 1	48017/3393	48248/3518	47911/4188	47641/4042	213371.34	25	None	0/0/0	5.96	102.34
Block 18	Span 5, Ring 1	48248/3518	48486/3630	48188/4318	47911/4188	213371.34	25	None	0/0/0	5.39	103.67
Block 19	Span 5, Ring 1	48486/3630	48730/3727	48473/4431	48188/4318	213371.34	25	None	0/0/0	4.86	100.20
Block 20	Span 5, Ring 1	48730/3727	48980/3810	48764/4528	48473/4431	213371.34	25	None	0/0/0	4.38	91.10
Block 21	Span 5, Ring 1	48980/3810	49233/3878	49060/4608	48764/4528	213371.34	25	None	0/0/0	3.95	75.92
Block 22	Span 5, Ring 1	49233/3878	49491/3931	49360/4670	49060/4608	213371.34	25	None	0/0/0	3.61	54.83
Block 23	Span 5, Ring 1	49491/3931	49751/3969	49663/4714	49360/4670	213371.34	25	None	0/0/0	3.35	28.81
Block 24	Span 5, Ring 1	49751/3969	50012/3992	49969/4741	49663/4714	213371.34	25	None	0/0/0	3.17	0
Block 25	Span 5, Ring 1	50012/3992	50275/4000	50275/4750	49969/4741	213371.34	25	None	0/0/0	3.09	0
Block 26	Span 5, Ring 1	50275/4000	50538/3992	50581/4741	50275/4750	213371.34	25	None	0/0/0	3.09	0
Block 27	Span 5, Ring 1	50538/3992	50799/3969	50887/4714	50581/4741	213371.34	25	None	0/0/0	3.19	0
Block 28	Span 5, Ring 1	50799/3969	51059/3931	51190/4670	50887/4714	213371.34	25	None	0/0/0	3.38	22.96
Block 29	Span 5, Ring 1	51059/3931	51317/3878	51490/4608	51190/4670	213371.34	25	None	0/0/0	3.67	48.49
Block 30	Span 5, Ring 1	51317/3878	51570/3810	51786/4528	51490/4608	213371.34	25	None	0/0/0	4.04	69.54
Block 31	Span 5, Ring 1	51570/3810	51820/3727	52077/4431	51786/4528	213371.34	25	None	0/0/0	4.48	85.07
Block 32	Span 5, Ring 1	51820/3727	52064/3630	52362/4318	52077/4431	213371.34	25	None	0/0/0	4.98	94.81
Block 33	Span 5, Ring 1	52064/3630	52302/3518	52639/4188	52362/4318	213371.34	25	None	0/0/0	5.54	99.07
Block 34	Span 5, Ring 1	52302/3518	52533/3393	52909/4042	52639/4188	213371.34	25	None	0/0/0	6.12	98.61
Block 35	Span 5, Ring 1	52533/3393	52756/3255	53169/3881	52909/4042	213371.34	25	None	0/0/0	6.72	14.13
Block 36	Span 5, Ring 1	52756/3255	52971/3104	53420/3704	53169/3881	213371.34	25	None	0/0/0	7.31	0
Block 37	Span 5, Ring 1	52971/3104	53177/2940	53660/3514	53420/3704	213371.34	25	None	0/0/0	7.88	0
Block 38	Span 5, Ring 1	53177/2940	53373/2765	53889/3310	53660/3514	213371.34	25	None	0/0/0	8.40	8.56
Block 39	Span 5, Ring 1	53373/2765	53558/2579	54105/3092	53889/3310	213371.34	25	None	0/0/0	8.86	90.49
Block 40	Span 5, Ring 1	53558/2579	53732/2382	54308/2863	54105/3092	213371.34	25	None	0/0/0	9.23	138.32
Block 41	Span 5, Ring 1	53732/2382	53895/2176	54497/2622	54308/2863	213371.34	25	None	0/0/0	9.50	161.91
Block 42	Span 5, Ring 1	53895/2176	54045/1960	54673/2370	54497/2622	213371.34	25	None	0/0/0	9.64	168.23
Block 43	Span 5, Ring 1	54045/1960	54182/1736	54833/2109	54673/2370	213371.34	25	None	0/0/0	9.64	163.22
Block 44	Span 5, Ring 1	54182/1736	54306/1504	54977/1839	54833/2109	213371.34	25	None	0/0/0	9.47	0
Block 45	Span 5, Ring 1	54306/1504	54416/1266	55106/1561	54977/1839	213371.34	25	None	0/0/0	9.13	0
Block 46	Span 5, Ring 1	54416/1266	54512/1021	55218/1275	55106/1561	213371.34	25	None	0/0/0	8.59	0
Block 47	Span 5, Ring 1	54512/1021	54594/772	55313/984	55218/1275	213371.34	25	None	0/0/0	7.85	0

Block 48	Span 5, Ring 1	54594/772	54661/518	55391/688	55313/984	213371.34	25	None	0/0/0	6.90	0
Block 49	Span 5, Ring 1	54661/518	54713/260	55452/387	55391/688	213371.34	25	None	0/0/0	5.73	0
Block 50	Span 5, Ring 1	54713/260	54750/0	55495/84	55452/387	213371.34	25	None	0/0/0	4.32	0
Block 1	Pier 5	54750/-225	57250/-225	57250/0	54750/0	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 2	Pier 5	54750/-450	57250/-450	57250/-225	54750/-225	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 3	Pier 5	54750/-675	57250/-675	57250/-450	54750/-450	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 4	Pier 5	54750/-900	57250/-900	57250/-675	54750/-675	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 5	Pier 5	54750/-1125	57250/-1125	57250/-900	54750/-900	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 6	Pier 5	54750/-1350	57250/-1350	57250/-1125	54750/-1125	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 7	Pier 5	54750/-1575	57250/-1575	57250/-1350	54750/-1350	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 8	Pier 5	54750/-1800	57250/-1800	57250/-1575	54750/-1575	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 9	Pier 5	54250/-2550	57750/-2550	57750/-1800	54250/-1800	2625000.00	25	X/Y/Rot	0/0/0	0	0
Block 0	Skewback 5	54750/0	57250/0	56505/84	55495/84	147056.84	25	None	0/0/0	104.29	0
Block 1	Span 6, Ring 1	57250/0	57287/260	56548/387	56505/84	213371.34	25	None	0/0/0	4.32	0
Block 2	Span 6, Ring 1	57287/260	57339/518	56609/688	56548/387	213371.34	25	None	0/0/0	5.73	0
Block 3	Span 6, Ring 1	57339/518	57406/772	56687/984	56609/688	213371.34	25	None	0/0/0	6.90	0
Block 4	Span 6, Ring 1	57406/772	57488/1021	56782/1275	56687/984	213371.34	25	None	0/0/0	7.85	0
Block 5	Span 6, Ring 1	57488/1021	57584/1266	56894/1561	56782/1275	213371.34	25	None	0/0/0	8.59	0
Block 6	Span 6, Ring 1	57584/1266	57694/1504	57023/1839	56894/1561	213371.34	25	None	0/0/0	9.13	0
Block 7	Span 6, Ring 1	57694/1504	57818/1736	57167/2109	57023/1839	213371.34	25	None	0/0/0	9.47	0
Block 8	Span 6, Ring 1	57818/1736	57955/1960	57327/2370	57167/2109	213371.34	25	None	0/0/0	9.64	163.22
Block 9	Span 6, Ring 1	57955/1960	58105/2176	57503/2622	57327/2370	213371.34	25	None	0/0/0	9.64	168.23
Block 10	Span 6, Ring 1	58105/2176	58268/2382	57692/2863	57503/2622	213371.34	25	None	0/0/0	9.50	161.91
Block 11	Span 6, Ring 1	58268/2382	58442/2579	57895/3092	57692/2863	213371.34	25	None	0/0/0	9.23	138.32
Block 12	Span 6, Ring 1	58442/2579	58627/2765	58111/3310	57895/3092	213371.34	25	None	0/0/0	8.86	90.49
Block 13	Span 6, Ring 1	58627/2765	58823/2940	58340/3514	58111/3310	213371.34	25	None	0/0/0	8.40	8.56
Block 14	Span 6, Ring 1	58823/2940	59029/3104	58580/3704	58340/3514	213371.34	25	None	0/0/0	7.88	0
Block 15	Span 6, Ring 1	59029/3104	59244/3255	58831/3881	58580/3704	213371.34	25	None	0/0/0	7.31	0
Block 16	Span 6, Ring 1	59244/3255	59467/3393	59091/4042	58831/3881	213371.34	25	None	0/0/0	6.72	14.13
Block 17	Span 6, Ring 1	59467/3393	59698/3518	59361/4188	59091/4042	213371.34	25	None	0/0/0	6.12	98.61
Block 18	Span 6, Ring 1	59698/3518	59936/3630	59638/4318	59361/4188	213371.34	25	None	0/0/0	5.54	99.07
Block 19	Span 6, Ring 1	59936/3630	60180/3727	59923/4431	59638/4318	213371.34	25	None	0/0/0	4.98	94.81
Block 20	Span 6, Ring 1	60180/3727	60430/3810	60214/4528	59923/4431	213371.34	25	None	0/0/0	4.48	85.07
Block 21	Span 6, Ring 1	60430/3810	60683/3878	60510/4608	60214/4528	213371.34	25	None	0/0/0	4.04	69.54
Block 22	Span 6, Ring 1	60683/3878	60941/3931	60810/4670	60510/4608	213371.34	25	None	0/0/0	3.67	48.49
Block 23	Span 6, Ring 1	60941/3931	61201/3969	61113/4714	60810/4670	213371.34	25	None	0/0/0	3.38	22.96
Block 24	Span 6, Ring 1	61201/3969	61462/3992	61419/4741	61113/4714	213371.34	25	None	0/0/0	3.19	0
Block 25	Span 6, Ring 1	61462/3992	61725/4000	61725/4750	61419/4741	213371.34	25	None	0/0/0	3.09	0
Block 26	Span 6, Ring 1	61725/4000	61988/3992	62031/4741	61725/4750	213371.34	25	None	0/0/0	3.09	44.71
Block 27	Span 6, Ring 1	61988/3992	62249/3969	62337/4714	62031/4741	213371.34	25	None	0/0/0	3.19	133.97
Block 28	Span 6, Ring 1	62249/3969	62509/3931	62640/4670	62337/4714	213371.34	25	None	0/0/0	3.38	105.98
Block 29	Span 6, Ring 1	62509/3931	62767/3878	62940/4608	62640/4670	213371.34	25	None	0/0/0	3.67	111.06
Block 30	Span 6, Ring 1	62767/3878	63020/3810	63236/4528	62940/4608	213371.34	25	None	0/0/0	4.04	115.97
Block 31	Span 6, Ring 1	63020/3810	63270/3727	63527/4431	63236/4528	213371.34	25	None	0/0/0	4.48	115.43
Block 32	Span 6, Ring 1	63270/3727	63514/3630	63812/4318	63527/4431	213371.34	25	None	0/0/0	4.98	45.54
Block 33	Span 6, Ring 1	63514/3630	63752/3518	64089/4188	63812/4318	213371.34	25	None	0/0/0	5.54	0
Block 34	Span 6, Ring 1	63752/3518	63983/3393	64359/4042	64089/4188	213371.34	25	None	0/0/0	6.12	0

Block 35	Span 6, Ring 1	63983/3393	64206/3255	64619/3881	64359/4042	213371.34	25	None	0/0/0	6.72	0
Block 36	Span 6, Ring 1	64206/3255	64421/3104	64870/3704	64619/3881	213371.34	25	None	0/0/0	7.31	575.62
Block 37	Span 6, Ring 1	64421/3104	64627/2940	65110/3514	64870/3704	213371.34	25	None	0/0/0	7.88	0
Block 38	Span 6, Ring 1	64627/2940	64823/2765	65339/3310	65110/3514	213371.34	25	None	0/0/0	8.40	0
Block 39	Span 6, Ring 1	64823/2765	65008/2579	65555/3092	65339/3310	213371.34	25	None	0/0/0	8.86	0
Block 40	Span 6, Ring 1	65008/2579	65182/2382	65758/2863	65555/3092	213371.34	25	None	0/0/0	9.23	0
Block 41	Span 6, Ring 1	65182/2382	65345/2176	65947/2622	65758/2863	213371.34	25	None	0/0/0	9.50	0
Block 42	Span 6, Ring 1	65345/2176	65495/1960	66123/2370	65947/2622	213371.34	25	None	0/0/0	9.64	0
Block 43	Span 6, Ring 1	65495/1960	65632/1736	66283/2109	66123/2370	213371.34	25	None	0/0/0	9.64	0
Block 44	Span 6, Ring 1	65632/1736	65756/1504	66427/1839	66283/2109	213371.34	25	None	0/0/0	9.47	0
Block 45	Span 6, Ring 1	65756/1504	65866/1266	66556/1561	66427/1839	213371.34	25	None	0/0/0	9.13	0
Block 46	Span 6, Ring 1	65866/1266	65962/1021	66668/1275	66556/1561	213371.34	25	None	0/0/0	8.59	0
Block 47	Span 6, Ring 1	65962/1021	66044/772	66763/984	66668/1275	213371.34	25	None	0/0/0	7.85	0
Block 48	Span 6, Ring 1	66044/772	66111/518	66841/688	66763/984	213371.34	25	None	0/0/0	6.90	0
Block 49	Span 6, Ring 1	66111/518	66163/260	66902/387	66841/688	213371.34	25	None	0/0/0	5.73	0
Block 50	Span 6, Ring 1	66163/260	66200/0	66945/84	66902/387	213371.34	25	None	0/0/0	4.32	4.64
Block 1	Abutment 6	66200/-333	82200/-333	82200/0	66200/0	5333333.33	25	None	0/0/0	0	0
Block 2	Abutment 6	66200/-666	82200/-666	82200/-333	66200/-333	5333333.33	25	None	0/0/0	0	0
Block 3	Abutment 6	66200/-1000	82200/-1000	82200/-666	66200/-666	5333333.33	25	None	0/0/0	0	0
Block 4	Abutment 6	63000/-5800	82200/-5800	82200/-1000	63000/-1000	92160000	25	X/Y/Rot	0/0/0	0	0
Block 0	Skewback 6	66200/0	82200/0	82200/84	66945/84	1309689.53	25	None	0/0/0	1576.17	0

**Key:**

X = X direction, Y = Y direction, Rot. = Rotation

# Contacts

Label	Position	Point 1	Point 2	Length	Loss A	Loss B	CS	FC	Status	Inter-ring?	Normal	Shear	Moment
Contact 0	Abutment 0	0/0	-12000/0	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1627.84	1049.40	2631370.69
Contact 1	Abutment 0	0/-225	-12000/-225	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1695.34	1049.40	2867485.27
Contact 2	Abutment 0	0/-450	-12000/-450	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1762.84	1049.40	3103599.86
Contact 3	Abutment 0	0/-675	-12000/-675	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1830.34	1049.40	3339714.44
Contact 4	Abutment 0	0/-900	-12000/-900	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1897.84	1049.40	3575829.02
Contact 5	Abutment 0	0/-1125	-12000/-1125	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1965.34	1049.40	3811943.60
Contact 6	Abutment 0	0/-1350	-12000/-1350	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2032.84	1049.40	4048058.19
Contact 7	Abutment 0	0/-1575	-12000/-1575	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2100.34	1049.40	4284172.77
Contact 8	Abutment 0	0/-1800	-12000/-1800	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2167.84	1049.40	4520287.35
Contact 0	Span 1, Ring 1	-745/84	0/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	366.88	65.74	69334.31
Contact 1	Span 1, Ring 1	-702/387	37/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	360.20	45.94	86989.68
Contact 2	Span 1, Ring 1	-641/688	89/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	350.97	27.48	99745.77
Contact 3	Span 1, Ring 1	-563/984	156/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	339.58	10.63	107920.32
Contact 4	Span 1, Ring 1	-467/1275	238/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	326.41	-4.44	111892.89
Contact 5	Span 1, Ring 1	-355/1561	334/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	311.87	-17.61	112089.14
Contact 6	Span 1, Ring 1	-227/1839	444/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	301.80	-17.84	108621.63
Contact 7	Span 1, Ring 1	-82/2109	568/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	291.77	-17.82	105157.83
Contact 8	Span 1, Ring 1	77/2370	705/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	281.89	-17.56	101736.87
Contact 9	Span 1, Ring 1	253/2622	855/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	272.27	-17.11	98393.08
Contact 10	Span 1, Ring 1	442/2863	1018/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	262.97	-16.51	95155.34
Contact 11	Span 1, Ring 1	645/3092	1192/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	254.06	-15.81	92045.56
Contact 12	Span 1, Ring 1	861/3310	1377/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	245.58	-15.06	89077.92

	1													
Contact 13	Span 1, Ring 1	1090/3514	1573/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	237.55	-14.31	86258.61	
Contact 14	Span 1, Ring 1	1330/3704	1779/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	229.95	-13.61	83586.32	
Contact 15	Span 1, Ring 1	1581/3881	1994/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	222.76	-13.00	81053.41	
Contact 16	Span 1, Ring 1	1841/4042	2217/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	215.94	-12.49	78648.05	
Contact 17	Span 1, Ring 1	2111/4188	2448/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	209.47	-12.08	76356.63	
Contact 18	Span 1, Ring 1	2388/4318	2686/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	203.29	-11.75	74167.96	
Contact 19	Span 1, Ring 1	2673/4431	2930/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	197.78	-11.32	71954.06	
Contact 20	Span 1, Ring 1	2964/4528	3180/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	193.15	-10.73	69677.54	
Contact 21	Span 1, Ring 1	3260/4608	3433/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	340.39	25.86	16930.91	
Contact 22	Span 1, Ring 1	3560/4670	3691/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	645.30	71.88	-81469.35	
Contact 23	Span 1, Ring 1	3863/4714	3951/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	868.28	71.71	-142377.82	
Contact 24	Span 1, Ring 1	4169/4741	4212/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1004.05	40.31	-175694.58	
Contact 25	Span 1, Ring 1	4475/4750	4475/4000	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1049.40	-6.87	-187432.10	
Contact 26	Span 1, Ring 1	4781/4741	4738/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1003.25	-54.06	-179608.67	
Contact 27	Span 1, Ring 1	5087/4714	4999/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	866.67	-85.50	-150209.85	
Contact 28	Span 1, Ring 1	5390/4670	5259/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	642.86	-85.68	-93222.04	
Contact 29	Span 1, Ring 1	5690/4608	5517/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	424.42	-60.40	-34265.06	
Contact 30	Span 1, Ring 1	5986/4528	5770/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	411.51	-69.81	-48923.78	
Contact 31	Span 1, Ring 1	6277/4431	6020/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	390.22	-74.39	-62508.49	
Contact 32	Span 1, Ring 1	6562/4318	6264/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	362.95	-73.35	-74311.99	
Contact 33	Span 1, Ring 1	6839/4188	6502/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	332.34	-66.49	-83562.71	
Contact 34	Span 1, Ring 1	7109/4042	6733/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	300.96	-54.19	-89495.56	
Contact 35	Span 1, Ring 1	7369/3881	6956/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	271.11	-37.23	-91414.85	
Contact 36	Span 1, Ring 1	7620/3704	7171/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	244.66	-16.71	-88754.62	
Contact 37	Span 1, Ring 1	7860/3514	7377/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	222.93	6.12	-81112.73	
Contact 38	Span 1, Ring 1	8089/3310	7573/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	206.70	30.01	-68268.05	
Contact 39	Span 1, Ring 1	8305/3092	7758/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	196.28	53.85	-50177.17	
Contact 40	Span 1, Ring 1	8508/2863	7932/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	202.58	63.44	-33088.10	
Contact 41	Span 1, Ring 1	8697/2622	8095/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	219.09	61.26	-18572.65	
Contact 42	Span 1, Ring 1	8873/2370	8245/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	236.00	57.33	-5073.43	
Contact 43	Span 1, Ring 1	9033/2109	8382/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	253.04	51.55	6954.84	
Contact 44	Span 1, Ring 1	9177/1839	8506/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	269.89	43.81	17037.55	
Contact 45	Span 1, Ring 1	9306/1561	8616/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	286.21	34.08	24690.11	
Contact 46	Span 1, Ring 1	9418/1275	8712/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	301.63	22.34	29429.51	
Contact 47	Span 1, Ring 1	9513/984	8794/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	315.78	8.65	30787.37	
Contact 48	Span 1, Ring 1	9591/688	8861/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	328.25	-6.87	28324.26	
Contact 49	Span 1, Ring 1	9652/387	8913/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	309.53	145.23	58364.02	
Contact 50	Span 1, Ring 1	9695/84	8950/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	316.86	221.80	113801.01	
Contact 0	Pier 1	11450/0	8950/0	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	882.61	204.76	196332.98	
Contact 1	Pier 1	11450/-225	8950/-225	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	896.67	204.76	242404.68	
Contact 2	Pier 1	11450/-450	8950/-450	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	910.73	204.76	288476.37	
Contact 3	Pier 1	11450/-675	8950/-675	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	924.80	204.76	334548.07	
Contact 4	Pier 1	11450/-900	8950/-900	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	938.86	204.76	380619.76	
Contact 5	Pier 1	11450/-1125	8950/-1125	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	952.92	204.76	426691.46	
Contact 6	Pier 1	11450/-1350	8950/-1350	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	966.98	204.76	472763.15	

Contact 7	Pier 1	11450/-1575	8950/-1575	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	981.05	204.76	518834.85
Contact 8	Pier 1	11450/-1800	8950/-1800	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	995.11	204.76	564906.54
Contact 0	Span 2, Ring 1	10705/84	11450/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	427.03	-28.13	-151017.01
Contact 1	Span 2, Ring 1	10748/387	11487/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	430.82	41.67	-152279.30
Contact 2	Span 2, Ring 1	10809/688	11539/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	460.26	186.38	-130163.51
Contact 3	Span 2, Ring 1	10887/984	11606/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	458.08	162.84	-77744.00
Contact 4	Span 2, Ring 1	10982/1275	11688/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	453.75	140.54	-31518.11
Contact 5	Span 2, Ring 1	11094/1561	11784/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	447.64	119.62	8787.03
Contact 6	Span 2, Ring 1	11223/1839	11894/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	440.10	100.17	43480.52
Contact 7	Span 2, Ring 1	11367/2109	12018/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	431.47	82.19	72893.75
Contact 8	Span 2, Ring 1	11527/2370	12155/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	422.07	65.68	97367.61
Contact 9	Span 2, Ring 1	11703/2622	12305/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	412.18	50.58	117241.25
Contact 10	Span 2, Ring 1	11892/2863	12468/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	402.06	36.78	132842.50
Contact 11	Span 2, Ring 1	12095/3092	12642/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	401.48	34.36	142495.89
Contact 12	Span 2, Ring 1	12311/3310	12827/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	416.95	45.82	147664.35
Contact 13	Span 2, Ring 1	12540/3514	13023/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	437.51	57.00	154496.50
Contact 14	Span 2, Ring 1	12780/3704	13229/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	462.86	66.81	162859.45
Contact 15	Span 2, Ring 1	13031/3881	13444/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	492.17	74.04	172452.94
Contact 16	Span 2, Ring 1	13291/4042	13667/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	524.11	77.49	182806.49
Contact 17	Span 2, Ring 1	13561/4188	13898/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	556.79	76.10	193297.10
Contact 18	Span 2, Ring 1	13838/4318	14136/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	587.91	69.10	203183.92
Contact 19	Span 2, Ring 1	14123/4431	14380/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	614.86	56.19	211669.12
Contact 20	Span 2, Ring 1	14414/4528	14630/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	634.99	37.60	217961.48
Contact 21	Span 2, Ring 1	14710/4608	14883/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	645.88	14.16	221347.78
Contact 22	Span 2, Ring 1	15010/4670	15141/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	861.45	25.46	147146.61
Contact 23	Span 2, Ring 1	15313/4714	15401/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1081.52	11.39	70966.06
Contact 24	Span 2, Ring 1	15619/4741	15662/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1213.49	-33.79	18464.61
Contact 25	Span 2, Ring 1	15925/4750	15925/4000	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1254.16	-94.52	-16316.67
Contact 26	Span 2, Ring 1	16231/4741	16188/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1247.09	-157.56	-52255.98
Contact 27	Span 2, Ring 1	16537/4714	16449/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1103.90	-204.46	-54482.63
Contact 28	Span 2, Ring 1	16840/4670	16709/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	872.51	-219.65	-33429.43
Contact 29	Span 2, Ring 1	17140/4608	16967/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	558.24	-188.10	20948.22
Contact 30	Span 2, Ring 1	17436/4528	17220/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	247.17	-119.23	89635.86
Contact 31	Span 2, Ring 1	17727/4431	17470/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	207.00	-109.56	70088.49
Contact 32	Span 2, Ring 1	18012/4318	17714/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	169.71	-95.52	53213.41
Contact 33	Span 2, Ring 1	18289/4188	17952/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	136.90	-78.07	39603.92
Contact 34	Span 2, Ring 1	18559/4042	18183/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	109.74	-58.29	29706.55
Contact 35	Span 2, Ring 1	18819/3881	18406/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	111.25	-52.10	13264.08
Contact 36	Span 2, Ring 1	19070/3704	18621/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	116.27	-47.47	-2726.19
Contact 37	Span 2, Ring 1	19310/3514	18827/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	122.50	-43.25	-17721.93
Contact 38	Span 2, Ring 1	19539/3310	19023/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	129.91	-39.62	-31864.08
Contact 39	Span 2, Ring 1	19755/3092	19208/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	138.42	-36.77	-45336.49
Contact 40	Span 2, Ring 1	19958/2863	19382/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	124.77	-7.18	-45554.72
Contact 41	Span 2, Ring 1	20147/2622	19545/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	136.72	-5.13	-50335.78

Contact 42	Span 2, Ring 1	20323/2370	19695/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	149.35	-4.50	-54891.39
Contact 43	Span 2, Ring 1	20483/2109	19832/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	147.56	20.50	-50116.47
Contact 44	Span 2, Ring 1	20627/1839	19956/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	150.73	41.96	-40005.56
Contact 45	Span 2, Ring 1	20756/1561	20066/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	148.57	81.48	-18525.72
Contact 46	Span 2, Ring 1	20868/1275	20162/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	166.61	77.55	962.66
Contact 47	Span 2, Ring 1	20963/984	20244/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	183.88	71.55	19256.04
Contact 48	Span 2, Ring 1	21041/688	20311/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	199.97	63.55	35872.81
Contact 49	Span 2, Ring 1	21102/387	20363/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	208.08	90.95	58445.77
Contact 50	Span 2, Ring 1	21145/84	20400/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	222.80	79.76	81067.93
Contact 0	Pier 2	22900/0	20400/0	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	625.77	99.42	142035.19
Contact 1	Pier 2	22900/-225	20400/-225	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	639.83	99.42	164404.68
Contact 2	Pier 2	22900/-450	20400/-450	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	653.90	99.42	186774.17
Contact 3	Pier 2	22900/-675	20400/-675	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	667.96	99.42	209143.66
Contact 4	Pier 2	22900/-900	20400/-900	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	682.02	99.42	231513.16
Contact 5	Pier 2	22900/-1125	20400/-1125	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	696.08	99.42	253882.65
Contact 6	Pier 2	22900/-1350	20400/-1350	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	710.15	99.42	276252.14
Contact 7	Pier 2	22900/-1575	20400/-1575	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	724.21	99.42	298621.63
Contact 8	Pier 2	22900/-1800	20400/-1800	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	738.27	99.42	320991.12
Contact 0	Span 3, Ring 1	22155/84	22900/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	286.69	13.11	-103398.54
Contact 1	Span 3, Ring 1	22198/387	22937/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	277.28	-1.97	-100135.33
Contact 2	Span 3, Ring 1	22259/688	22989/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	274.26	21.24	-97974.17
Contact 3	Span 3, Ring 1	22337/984	23056/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	263.00	8.76	-91093.27
Contact 4	Span 3, Ring 1	22432/1275	23138/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	250.31	-2.01	-87206.87
Contact 5	Span 3, Ring 1	22544/1561	23234/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	236.56	-10.96	-85910.78
Contact 6	Span 3, Ring 1	22673/1839	23344/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	242.72	23.29	-88074.66
Contact 7	Span 3, Ring 1	22817/2109	23468/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	243.25	39.25	-80407.03
Contact 8	Span 3, Ring 1	22977/2370	23605/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	248.42	58.53	-69005.20
Contact 9	Span 3, Ring 1	23153/2622	23755/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	238.84	53.24	-49934.36
Contact 10	Span 3, Ring 1	23342/2863	23918/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	229.60	49.18	-32354.56
Contact 11	Span 3, Ring 1	23545/3092	24092/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	245.61	72.50	-21104.13
Contact 12	Span 3, Ring 1	23761/3310	24277/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	239.11	68.93	1588.91
Contact 13	Span 3, Ring 1	23990/3514	24473/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	233.34	66.01	23100.33
Contact 14	Span 3, Ring 1	24230/3704	24679/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	228.36	63.56	43579.49
Contact 15	Span 3, Ring 1	24481/3881	24894/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	224.23	61.43	63138.36
Contact 16	Span 3, Ring 1	24741/4042	25117/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	223.21	60.78	81211.37
Contact 17	Span 3, Ring 1	25011/4188	25348/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	250.45	73.67	90783.82
Contact 18	Span 3, Ring 1	25288/4318	25586/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	282.94	84.20	102101.69
Contact 19	Span 3, Ring 1	25573/4431	25830/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	319.51	91.30	114713.48
Contact 20	Span 3, Ring 1	25864/4528	26080/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	358.55	94.05	128027.48
Contact 21	Span 3, Ring 1	26160/4608	26333/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	668.06	156.03	51144.74
Contact 22	Span 3, Ring 1	26460/4670	26591/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	980.35	180.75	-13374.39
Contact 23	Span 3, Ring 1	26763/4714	26851/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1209.35	158.82	-46492.90
Contact 24	Span 3, Ring 1	27069/4741	27112/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1349.74	105.29	-58225.47
Contact 25	Span 3, Ring 1	27375/4750	27375/4000	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1353.58	35.75	-38102.17
Contact 26	Span 3, Ring 1	27681/4741	27638/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1314.57	-31.64	-22960.16
Contact 27	Span 3, Ring 1	27987/4714	27899/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1178.52	-83.33	10007.52
Contact 28	Span 3, Ring 1	28290/4670	28159/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1073.71	-124.92	17228.26

	1												
Contact 29	Span 3, Ring 1	28590/4608	28417/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	956.62	-151.64	18642.27
Contact 30	Span 3, Ring 1	28886/4528	28670/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	834.99	-163.28	15978.35
Contact 31	Span 3, Ring 1	29177/4431	28920/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	715.73	-161.02	11104.04
Contact 32	Span 3, Ring 1	29462/4318	29164/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	671.54	-176.09	-23441.05
Contact 33	Span 3, Ring 1	29739/4188	29402/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	665.25	-204.79	-78628.96
Contact 34	Span 3, Ring 1	30009/4042	29633/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	658.15	-232.93	-142120.33
Contact 35	Span 3, Ring 1	30269/3881	29856/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	650.31	-260.52	-213776.93
Contact 36	Span 3, Ring 1	30520/3704	30071/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	151.57	78.84	-55689.77
Contact 37	Span 3, Ring 1	30760/3514	30277/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	164.62	80.20	-34952.64
Contact 38	Span 3, Ring 1	30989/3310	30473/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	178.65	80.63	-14215.97
Contact 39	Span 3, Ring 1	31205/3092	30658/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	193.56	79.94	6236.13
Contact 40	Span 3, Ring 1	31408/2863	30832/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	209.22	77.97	26081.02
Contact 41	Span 3, Ring 1	31597/2622	30995/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	225.46	74.55	44959.18
Contact 42	Span 3, Ring 1	31773/2370	31145/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	242.07	69.54	62477.60
Contact 43	Span 3, Ring 1	31933/2109	31282/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	258.79	62.80	78215.10
Contact 44	Span 3, Ring 1	32077/1839	31406/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	275.34	54.24	91729.56
Contact 45	Span 3, Ring 1	32206/1561	31516/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	291.39	43.79	102567.02
Contact 46	Span 3, Ring 1	32318/1275	31612/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	306.59	31.46	110272.50
Contact 47	Span 3, Ring 1	32413/984	31694/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	320.59	17.26	114402.41
Contact 48	Span 3, Ring 1	32491/688	31761/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	332.99	1.32	114538.26
Contact 49	Span 3, Ring 1	32552/387	31813/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	343.41	-16.23	110301.29
Contact 50	Span 3, Ring 1	32595/84	31850/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	351.49	-35.15	101367.81
Contact 0	Pier 3	34350/0	31850/0	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	641.59	-63.38	168711.17
Contact 1	Pier 3	34350/-225	31850/-225	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	655.65	-63.38	154451.46
Contact 2	Pier 3	34350/-450	31850/-450	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	669.72	-63.38	140191.76
Contact 3	Pier 3	34350/-675	31850/-675	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	683.78	-63.38	125932.05
Contact 4	Pier 3	34350/-900	31850/-900	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	697.84	-63.38	111672.34
Contact 5	Pier 3	34350/-1125	31850/-1125	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	711.90	-63.38	97412.63
Contact 6	Pier 3	34350/-1350	31850/-1350	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	725.97	-63.38	83152.92
Contact 7	Pier 3	34350/-1575	31850/-1575	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	740.03	-63.38	68893.21
Contact 8	Pier 3	34350/-1800	31850/-1800	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	754.09	-63.38	54633.50
Contact 0	Span 4, Ring 1	33605/84	34350/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	188.35	-10.28	67783.97
Contact 1	Span 4, Ring 1	33648/387	34387/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	177.92	-19.62	65137.47
Contact 2	Span 4, Ring 1	33709/688	34439/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	165.72	-27.46	60536.10
Contact 3	Span 4, Ring 1	33787/984	34506/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	152.14	-33.62	54330.41
Contact 4	Span 4, Ring 1	33882/1275	34588/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	137.55	-37.99	46915.31
Contact 5	Span 4, Ring 1	33994/1561	34684/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	122.34	-40.49	38714.47
Contact 6	Span 4, Ring 1	34123/1839	34794/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	106.89	-41.14	30165.39
Contact 7	Span 4, Ring 1	34267/2109	34918/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	91.55	-39.99	21705.47
Contact 8	Span 4, Ring 1	34427/2370	35055/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	76.62	-37.14	13759.36
Contact 9	Span 4, Ring 1	34603/2622	35205/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	62.40	-32.72	6728.01
Contact 10	Span 4, Ring 1	34792/2863	35368/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	49.13	-26.91	979.48
Contact 11	Span 4, Ring 1	34995/3092	35542/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	37.01	-19.90	-3158.26
Contact 12	Span 4, Ring 1	35211/3310	35727/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	26.20	-11.90	-5402.55
Contact 13	Span 4, Ring 1	35440/3514	35923/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	16.79	-3.13	-5519.18
Contact 14	Span 4, Ring 1	35680/3704	36129/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	8.87	6.21	-3323.67

Contact 15	Span 4, Ring 1	35931/3881	36344/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	513.22	353.13	-136275.93
Contact 16	Span 4, Ring 1	36191/4042	36567/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	527.12	332.64	-37402.61
Contact 17	Span 4, Ring 1	36461/4188	36798/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	540.69	311.13	55257.60
Contact 18	Span 4, Ring 1	36738/4318	37036/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	553.81	288.54	141428.33
Contact 19	Span 4, Ring 1	37023/4431	37280/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	605.16	279.05	208624.77
Contact 20	Span 4, Ring 1	37314/4528	37530/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	731.86	286.31	247667.27
Contact 21	Span 4, Ring 1	37610/4608	37783/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	861.17	279.11	285859.55
Contact 22	Span 4, Ring 1	37910/4670	38041/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	986.12	256.24	321173.76
Contact 23	Span 4, Ring 1	38213/4714	38301/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1098.94	217.90	351718.53
Contact 24	Span 4, Ring 1	38519/4741	38562/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1243.07	168.87	357390.58
Contact 25	Span 4, Ring 1	38825/4750	38825/4000	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1290.20	103.61	381607.05
Contact 26	Span 4, Ring 1	39131/4741	39088/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1294.49	35.72	401418.32
Contact 27	Span 4, Ring 1	39437/4714	39349/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1295.26	-32.22	401838.75
Contact 28	Span 4, Ring 1	39740/4670	39609/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1264.19	-94.91	394162.40
Contact 29	Span 4, Ring 1	40040/4608	39867/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1205.06	-147.80	379288.34
Contact 30	Span 4, Ring 1	40336/4528	40120/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1124.15	-187.74	358371.56
Contact 31	Span 4, Ring 1	40627/4431	40370/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1028.84	-213.19	332888.21
Contact 32	Span 4, Ring 1	40912/4318	40614/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	926.52	-224.19	304522.34
Contact 33	Span 4, Ring 1	41189/4188	40852/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	823.89	-222.06	275018.50
Contact 34	Span 4, Ring 1	41459/4042	41083/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	726.42	-209.03	246025.36
Contact 35	Span 4, Ring 1	41719/3881	41306/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	691.19	-222.89	193943.39
Contact 36	Span 4, Ring 1	41970/3704	41521/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	684.26	-253.12	124713.56
Contact 37	Span 4, Ring 1	42210/3514	41727/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	676.53	-282.87	46685.59
Contact 38	Span 4, Ring 1	42439/3310	41923/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	661.34	-305.88	-36575.67
Contact 39	Span 4, Ring 1	42655/3092	42108/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	593.14	-271.37	-98350.44
Contact 40	Span 4, Ring 1	42858/2863	42282/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	500.92	-193.04	-133858.36
Contact 41	Span 4, Ring 1	43047/2622	42445/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	407.05	-87.10	-140457.52
Contact 42	Span 4, Ring 1	43223/2370	42595/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	324.34	33.86	-116366.31
Contact 43	Span 4, Ring 1	43383/2109	42732/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	262.14	155.42	-62666.48
Contact 44	Span 4, Ring 1	43527/1839	42856/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	283.80	146.36	-22742.92
Contact 45	Span 4, Ring 1	43656/1561	42966/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	304.95	135.16	14310.96
Contact 46	Span 4, Ring 1	43768/1275	43062/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	325.25	121.80	47965.52
Contact 47	Span 4, Ring 1	43863/984	43144/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	344.30	106.31	77701.12
Contact 48	Span 4, Ring 1	43941/688	43211/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	361.71	88.80	103022.24
Contact 49	Span 4, Ring 1	44002/387	43263/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	377.08	69.41	123472.46
Contact 50	Span 4, Ring 1	44045/84	43300/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	390.02	48.37	138650.18
Contact 0	Pier 4	45800/0	43300/0	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2340.24	1169.29	-539725.70
Contact 1	Pier 4	45800/-225	43300/-225	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2354.30	1169.29	-276634.67
Contact 2	Pier 4	45800/-450	43300/-450	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2368.36	1169.29	-13543.64
Contact 3	Pier 4	45800/-675	43300/-675	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2382.43	1169.29	249547.40
Contact 4	Pier 4	45800/-900	43300/-900	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2396.49	1169.29	512638.43
Contact 5	Pier 4	45800/-1125	43300/-1125	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2410.55	1169.29	775729.46
Contact 6	Pier 4	45800/-1350	43300/-1350	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2424.61	1169.29	1038820.50
Contact 7	Pier 4	45800/-1575	43300/-1575	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2438.68	1169.29	1301911.53
Contact 8	Pier 4	45800/-1800	43300/-1800	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2452.74	1169.29	1565002.56
Contact 0	Span 5, Ring 1	45055/84	45800/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1959.36	951.82	-542804.65
Contact 1	Span 5, Ring 1	45098/387	45837/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2002.07	837.56	-286457.43

	1												
Contact 2	Span 5, Ring 1	45159/688	45889/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2036.81	721.86	-62363.84
Contact 3	Span 5, Ring 1	45237/984	45956/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2063.80	605.28	129046.84
Contact 4	Span 5, Ring 1	45332/1275	46038/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2083.29	488.32	287495.38
Contact 5	Span 5, Ring 1	45444/1561	46134/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2095.54	371.41	412839.61
Contact 6	Span 5, Ring 1	45573/1839	46244/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2100.82	254.95	505061.63
Contact 7	Span 5, Ring 1	45717/2109	46368/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2099.41	139.28	564255.69
Contact 8	Span 5, Ring 1	45877/2370	46505/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2175.57	153.25	579183.60
Contact 9	Span 5, Ring 1	46053/2622	46655/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2265.94	166.01	593003.63
Contact 10	Span 5, Ring 1	46242/2863	46818/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2361.13	163.50	606676.81
Contact 11	Span 5, Ring 1	46445/3092	46992/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2448.33	133.52	618407.19
Contact 12	Span 5, Ring 1	46661/3310	47177/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2505.17	60.24	625644.98
Contact 13	Span 5, Ring 1	46890/3514	47373/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2500.38	-66.90	625047.53
Contact 14	Span 5, Ring 1	47130/3704	47579/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2481.15	-197.79	590385.97
Contact 15	Span 5, Ring 1	47381/3881	47794/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2454.17	-325.16	519100.85
Contact 16	Span 5, Ring 1	47641/4042	48017/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2447.39	-428.74	404835.65
Contact 17	Span 5, Ring 1	47911/4188	48248/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2493.14	-491.98	245759.76
Contact 18	Span 5, Ring 1	48188/4318	48486/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2538.40	-556.20	67529.97
Contact 19	Span 5, Ring 1	48473/4431	48730/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2579.80	-625.21	-129535.28
Contact 20	Span 5, Ring 1	48764/4528	48980/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2596.92	-650.90	-336273.94
Contact 21	Span 5, Ring 1	49060/4608	49233/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2564.09	-513.19	-507924.27
Contact 22	Span 5, Ring 1	49360/4670	49491/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2504.26	-202.63	-598217.43
Contact 23	Span 5, Ring 1	49663/4714	49751/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2465.39	93.39	-596972.93
Contact 24	Span 5, Ring 1	49969/4741	50012/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2456.71	119.50	-552715.55
Contact 25	Span 5, Ring 1	50275/4750	50275/4000	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2459.50	23.91	-531888.52
Contact 26	Span 5, Ring 1	50581/4741	50538/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2459.57	-70.62	-538863.89
Contact 27	Span 5, Ring 1	50887/4714	50799/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2456.88	-165.98	-574075.38
Contact 28	Span 5, Ring 1	51190/4670	51059/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2480.32	33.74	-622520.62
Contact 29	Span 5, Ring 1	51490/4608	51317/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2591.71	576.66	-566205.92
Contact 30	Span 5, Ring 1	51786/4528	51570/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2644.71	745.50	-369800.59
Contact 31	Span 5, Ring 1	52077/4431	51820/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2619.63	662.57	-144438.49
Contact 32	Span 5, Ring 1	52362/4318	52064/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2585.82	590.27	60558.01
Contact 33	Span 5, Ring 1	52639/4188	52302/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2546.34	520.68	246246.44
Contact 34	Span 5, Ring 1	52909/4042	52533/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2505.64	452.82	411519.41
Contact 35	Span 5, Ring 1	53169/3881	52756/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2531.69	337.47	524238.09
Contact 36	Span 5, Ring 1	53420/3704	52971/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2559.56	205.97	598331.89
Contact 37	Span 5, Ring 1	53660/3514	53177/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2579.44	70.86	634615.04
Contact 38	Span 5, Ring 1	53889/3310	53373/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2585.31	-60.79	635300.24
Contact 39	Span 5, Ring 1	54105/3092	53558/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2527.29	-134.36	628374.16
Contact 40	Span 5, Ring 1	54308/2863	53732/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2437.71	-165.99	617019.12
Contact 41	Span 5, Ring 1	54497/2622	53895/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2339.48	-168.91	603646.41
Contact 42	Span 5, Ring 1	54673/2370	54045/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2246.16	-156.04	590048.00
Contact 43	Span 5, Ring 1	54833/2109	54182/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2165.06	-137.71	576760.00
Contact 44	Span 5, Ring 1	54977/1839	54306/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2166.60	-257.14	517422.75

	1												
Contact 45	Span 5, Ring 1	55106/1561	54416/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2161.22	-377.38	423988.21
Contact 46	Span 5, Ring 1	55218/1275	54512/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2148.64	-498.06	296360.96
Contact 47	Span 5, Ring 1	55313/984	54594/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2128.58	-618.79	134561.72
Contact 48	Span 5, Ring 1	55391/688	54661/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2100.79	-739.10	-61260.40
Contact 49	Span 5, Ring 1	55452/387	54713/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2065.01	-858.48	-290815.02
Contact 50	Span 5, Ring 1	55495/84	54750/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2021.03	-976.37	-553657.39
Contact 0	Pier 5	57250/0	54750/0	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2419.12	-1200.13	556042.06
Contact 1	Pier 5	57250/-225	54750/-225	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2433.18	-1200.13	286013.02
Contact 2	Pier 5	57250/-450	54750/-450	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2447.24	-1200.13	15983.98
Contact 3	Pier 5	57250/-675	54750/-675	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2461.31	-1200.13	-254045.05
Contact 4	Pier 5	57250/-900	54750/-900	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2475.37	-1200.13	-524074.09
Contact 5	Pier 5	57250/-1125	54750/-1125	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2489.43	-1200.13	-794103.13
Contact 6	Pier 5	57250/-1350	54750/-1350	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2503.49	-1200.13	-1064132.16
Contact 7	Pier 5	57250/-1575	54750/-1575	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2517.56	-1200.13	-1334161.20
Contact 8	Pier 5	57250/-1800	54750/-1800	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2531.62	-1200.13	-1604190.24
Contact 0	Span 6, Ring 1	56505/84	57250/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	408.85	-50.03	144962.06
Contact 1	Span 6, Ring 1	56548/387	57287/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	395.72	-72.16	129182.12
Contact 2	Span 6, Ring 1	56609/688	57339/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	380.07	-92.60	107834.27
Contact 3	Span 6, Ring 1	56687/984	57406/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	362.29	-111.15	81327.84
Contact 4	Span 6, Ring 1	56782/1275	57488/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	342.78	-127.62	50129.30
Contact 5	Span 6, Ring 1	56894/1561	57584/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	321.94	-141.92	14746.49
Contact 6	Span 6, Ring 1	57023/1839	57694/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	300.17	-154.01	-24286.40
Contact 7	Span 6, Ring 1	57167/2109	57818/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	277.83	-163.89	-66423.01
Contact 8	Span 6, Ring 1	57327/2370	57955/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	344.55	-34.99	-123269.89
Contact 9	Span 6, Ring 1	57503/2622	58105/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	429.96	89.11	-148228.62
Contact 10	Span 6, Ring 1	57692/2863	58268/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	526.79	197.69	-141704.06
Contact 11	Span 6, Ring 1	57895/3092	58442/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	621.47	277.45	-105464.88
Contact 12	Span 6, Ring 1	58111/3310	58627/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	692.51	313.28	-42677.51
Contact 13	Span 6, Ring 1	58340/3514	58823/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	707.29	288.38	42708.10
Contact 14	Span 6, Ring 1	58580/3704	59029/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	715.00	257.22	122217.39
Contact 15	Span 6, Ring 1	58831/3881	59244/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	721.82	225.63	192534.98
Contact 16	Span 6, Ring 1	59091/4042	59467/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	739.93	200.66	250098.91
Contact 17	Span 6, Ring 1	59361/4188	59698/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	833.28	211.78	277761.76
Contact 18	Span 6, Ring 1	59638/4318	59936/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	930.81	212.15	305734.25
Contact 19	Span 6, Ring 1	59923/4431	60180/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1027.12	199.71	332419.90
Contact 20	Span 6, Ring 1	60214/4528	60430/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1115.67	173.34	356139.68
Contact 21	Span 6, Ring 1	60510/4608	60683/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1189.36	133.19	375282.19
Contact 22	Span 6, Ring 1	60810/4670	60941/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1241.29	80.91	388443.61
Contact 23	Span 6, Ring 1	61113/4714	61201/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1265.68	19.71	394533.60
Contact 24	Span 6, Ring 1	61419/4741	61462/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1264.18	-45.63	390949.90
Contact 25	Span 6, Ring 1	61725/4750	61725/4000	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1259.37	-110.85	368706.63
Contact 26	Span 6, Ring 1	62031/4741	61988/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1206.62	-173.09	344812.92
Contact 27	Span 6, Ring 1	62337/4714	62249/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1062.41	-219.10	338340.52
Contact 28	Span 6, Ring 1	62640/4670	62509/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	944.98	-253.64	309718.98
Contact 29	Span 6, Ring 1	62940/4608	62767/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	822.62	-273.88	274647.02
Contact 30	Span 6, Ring 1	63236/4528	63020/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	696.87	-279.05	237046.30

Contact 31	Span 6, Ring 1	63527/4431	63270/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	574.36	-270.40	198890.04
Contact 32	Span 6, Ring 1	63812/4318	63514/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	519.91	-275.88	136104.21
Contact 33	Span 6, Ring 1	64089/4188	63752/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	507.83	-296.02	53800.95
Contact 34	Span 6, Ring 1	64359/4042	63983/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	495.44	-315.23	-34315.34
Contact 35	Span 6, Ring 1	64619/3881	64206/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	482.86	-333.53	-128003.50
Contact 36	Span 6, Ring 1	64870/3704	64421/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	9.10	-6.37	-3406.78
Contact 37	Span 6, Ring 1	65110/3514	64627/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	17.22	3.22	-5689.14
Contact 38	Span 6, Ring 1	65339/3310	64823/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	26.83	12.18	-5592.66
Contact 39	Span 6, Ring 1	65555/3092	65008/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	37.84	20.31	-3316.86
Contact 40	Span 6, Ring 1	65758/2863	65182/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	50.15	27.40	890.35
Contact 41	Span 6, Ring 1	65947/2622	65345/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	63.58	33.25	6733.98
Contact 42	Span 6, Ring 1	66123/2370	65495/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	77.95	37.68	13875.20
Contact 43	Span 6, Ring 1	66283/2109	65632/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	93.01	40.52	21936.51
Contact 44	Span 6, Ring 1	66427/1839	65756/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	108.47	41.63	30508.90
Contact 45	Span 6, Ring 1	66556/1561	65866/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	124.01	40.91	39160.95
Contact 46	Span 6, Ring 1	66668/1275	65962/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	139.29	38.32	47449.74
Contact 47	Span 6, Ring 1	66763/984	66044/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	153.94	33.87	54933.32
Contact 48	Span 6, Ring 1	66841/688	66111/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	167.57	27.61	61184.55
Contact 49	Span 6, Ring 1	66902/387	66163/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	179.79	19.66	65805.92
Contact 50	Span 6, Ring 1	66945/84	66200/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	189.71	14.83	69342.93
Contact 0	Abutment 6	82200/0	66200/0	16000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1799.10	-1259.37	-4361886.03
Contact 1	Abutment 6	82200/-333	66200/-333	16000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1932.43	-1259.37	-4781675.74
Contact 2	Abutment 6	82200/-666	66200/-666	16000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2065.77	-1259.37	-5201465.45
Contact 3	Abutment 6	82200/-1000	66200/-1000	16000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2199.10	-1259.37	-5621255.16

**Key:**

CS = Crushing Strength, FC = Friction Coefficient, S = Sliding enabled, H = Hinging enabled, C = Crushing enabled, R = Reinforcement present

## Summary

### Details

<b>Bridge name</b> Ponte Rio Tuela FINAL	<b>Location</b>	<b>Reference No.</b>	<b>Map reference</b>
<b>Bridge type</b> Highway	<b>Name of assessor</b>	<b>Assessing organization</b>	<b>Date of assessment</b> Thursday, March 26, 2020
<b>Comments</b>			

### Results

<b>Adequacy factor</b> 23.7 at load case #1 (this is the critical load case)	<b>Solver used (if not default)</b> CLP solver
---	---

### Mode of Response for Current Load Case



## Units

Unless specified otherwise, the following units are used throughout this report:

<b>Distance</b> mm	<b>Force*</b> kN	<b>Moment*</b> kNm	<b>Angle</b> Degrees	<b>Unit weight</b> kN/m <sup>3</sup>	<b>Material strength</b> N/mm <sup>2</sup>
-----------------------	---------------------	-----------------------	-------------------------	---	---

\* = per metre width

## Geometry

<b>Global:</b>	<b>No. Spans</b> 6	<b>Effective bridge width</b> 5200						
<b>Abutment 0:</b>	<b>Backing Height</b> 5550	<b>Pier Height</b> 1800	<b>Width (Top)</b> 12000	<b>Width (Base)</b> 12000	<b>No. Blocks</b> 8			
<b>Span 1:</b>	<b>Type</b> Stone voussoir	<b>Shape</b> Segmental	<b>No. Rings</b> 1	<b>Span</b> 8950	<b>Midspan rise</b> 4000	<b>Auto-calc. abutment angles?</b> Yes	<b>LHS angle</b> 6.4	<b>RHS angle</b> 6.4
<b>Ring 1:</b>	<b>No. Blocks</b> 50	<b>No. Blocks</b> 50	<b>Ring thickness</b> 750					
<b>Pier 1:</b>	<b>Backing Height</b> 5550	<b>Pier Height</b> 1800	<b>Width (Top)</b> 2500	<b>Width (Base)</b> 2500	<b>No. Blocks</b> 8			
<b>Span 2:</b>	<b>Type</b>	<b>Shape</b>	<b>No. Rings</b>	<b>Span</b>	<b>Midspan rise</b>	<b>Auto-calc.</b>	<b>LHS angle</b>	<b>RHS angle</b>

	Stone voussoir	Segmental	1	8950	4000	abutment angles? Yes	6.4	6.4
<b>Ring 1:</b>	<b>No. Blocks</b>	<b>Ring thickness</b>						
	50	750						
<b>Pier 2:</b>	<b>Backing Height</b>	<b>Pier Height</b>	<b>Width (Top)</b>	<b>Width (Base)</b>	<b>No. Blocks</b>			
	4870	1800	2500	2500	8			
<b>Span 3:</b>	<b>Type</b>	<b>Shape</b>	<b>No. Rings</b>	<b>Span</b>	<b>Midspan rise</b>	<b>Auto-calc. abutment angles?</b>	<b>LHS angle</b>	<b>RHS angle</b>
	Stone voussoir	Segmental	1	8950	4000	Yes	6.4	6.4
<b>Ring 1:</b>	<b>No. Blocks</b>	<b>Ring thickness</b>						
	50	750						
<b>Pier 3:</b>	<b>Backing Height</b>	<b>Pier Height</b>	<b>Width (Top)</b>	<b>Width (Base)</b>	<b>No. Blocks</b>			
	4870	1800	2500	2500	8			
<b>Span 4:</b>	<b>Type</b>	<b>Shape</b>	<b>No. Rings</b>	<b>Span</b>	<b>Midspan rise</b>	<b>Auto-calc. abutment angles?</b>	<b>LHS angle</b>	<b>RHS angle</b>
	Stone voussoir	Segmental	1	8950	4000	Yes	6.4	6.4
<b>Ring 1:</b>	<b>No. Blocks</b>	<b>Ring thickness</b>						
	50	750						
<b>Pier 4:</b>	<b>Backing Height</b>	<b>Pier Height</b>	<b>Width (Top)</b>	<b>Width (Base)</b>	<b>No. Blocks</b>			
	4870	1800	2500	2500	8			
<b>Span 5:</b>	<b>Type</b>	<b>Shape</b>	<b>No. Rings</b>	<b>Span</b>	<b>Midspan rise</b>	<b>Auto-calc. abutment angles?</b>	<b>LHS angle</b>	<b>RHS angle</b>
	Stone voussoir	Segmental	1	8950	4000	Yes	6.4	6.4
<b>Ring 1:</b>	<b>No. Blocks</b>	<b>Ring thickness</b>						
	50	750						
<b>Pier 5:</b>	<b>Backing Height</b>	<b>Pier Height</b>	<b>Width (Top)</b>	<b>Width (Base)</b>	<b>No. Blocks</b>			
	4870	1800	2500	2500	8			
<b>Span 6:</b>	<b>Type</b>	<b>Shape</b>	<b>No. Rings</b>	<b>Span</b>	<b>Midspan rise</b>	<b>Auto-calc. abutment angles?</b>	<b>LHS angle</b>	<b>RHS angle</b>
	Stone voussoir	Segmental	1	8950	4000	Yes	6.4	6.4
<b>Ring 1:</b>	<b>No. Blocks</b>	<b>Ring thickness</b>						
	50	750						
<b>Abutment 6:</b>	<b>Backing Height</b>	<b>Pier Height</b>	<b>Width (Top)</b>	<b>Width (Base)</b>	<b>No. Blocks</b>			
	4900	1000	16000	16000	3			

## Fill Profile Properties

*Distances measured from left springing point of left span.*

Horizontal distance (x)	Height to surface fill (y)	Surface fill depth (d)	Surface level (y+d)
4000	5550	200	5750
16000	5300	200	5500
27500	5200	200	5400
38500	4900	200	5100
50000	5050	200	5250
61500	5050	200	5250

## Partial Factors

---

### Loads

<b>Masonry unit weight</b>	<b>Fill unit weight</b>	<b>Surface unit weight</b>	<b>Axle load</b>	<b>Dynamic</b>
1	1	1	1	1

### Materials

<b>Masonry strength</b>	<b>Masonry friction</b>
1	1

## Fill Properties

---

### Backfill

<b>Unit weight</b>	<b>Angle of friction</b>	<b>Cohesion</b>
20	30	0
<b>Model dispersion of live load?</b>	<b>Model horizontal 'passive' pressures?</b>	
Yes	Yes	
<b>Dispersion type</b>	<b>Cutoff angle</b>	
Boussinesq	30	
<b>Soil arch interface, friction multiplier</b>	<b>Soil arch interface, cohesion multiplier</b>	
0.524	0.5	
<b>Mobilisation multiplier on Kp (mp)</b>	<b>Mobilisation multiplier on cohesion (mpc)</b>	
0.5	0.05	
<b>Keep mp.Kp &gt; 1?</b>	<b>Auto identify passive zones?</b>	
No	Yes	

### Surface Fill

<b>Unit weight</b>	<b>Load dispersion limiting angle</b>
20	30

## Backing

---

Position	Backing height	Passive pressures modelled?
Abutment 0	5550	Yes
Pier 1	5550	Yes
Pier 2	4870	Yes
Pier 3	4870	Yes
Pier 4	4870	Yes
Pier 5	4870	Yes
Abutment 6	4900	Yes

## Vehicles in Project

---

Name	Axle No.	Load magnitude	Axle position
Default 1kN Single Axle	1	1	0
EU Double Axle (1.30m)	1	88.29	0
EU Double Axle (1.30m)	2	88.29	1300
* CU H1 (38 Tonne, 5 Axle, Articulated)	1	57.49	0
* CU H1 (38 Tonne, 5 Axle, Articulated)	2	103.01	2450
* CU H1 (38 Tonne, 5 Axle, Articulated)	3	58.86	3800
* CU H1 (38 Tonne, 5 Axle, Articulated)	4	76.71	9080
* CU H1 (38 Tonne, 5 Axle, Articulated)	5	76.71	10100
EU Single Axle	1	112.82	0
Carga distribuida	1	16.25	0

Sobrecarga LM1	1	300	0
Sobrecarga LM1	2	300	2000
EU Double Axle (1.00m)	1	78.48	0
EU Double Axle (1.00m)	2	78.48	1000
LM2	1	400	0

## Vehicles in Load Cases

#	Load Case Name	Vehicle(s)	Position	Mirror?	Dynamic Axles
1	Load Case 3	LM2	50227	No	-

## Load Cases

#	Load Case Name	Effective Width	Adequacy Factor
1	Load Case 3	5200	23.7

## Blocks

Label	Position	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Area	Unit weight	Support	Support movement (V) X/Y/Rot.	Fill force (V)	Fill force (H)
Block 1	Abutment 0	-12000/-225	0/-225	0/0	-12000/0	2700000.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 2	Abutment 0	-12000/-450	0/-450	0/-225	-12000/-225	2700000.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 3	Abutment 0	-12000/-675	0/-675	0/-450	-12000/-450	2700000.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 4	Abutment 0	-12000/-900	0/-900	0/-675	-12000/-675	2700000.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 5	Abutment 0	-12000/-1125	0/-1125	0/-900	-12000/-900	2700000.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 6	Abutment 0	-12000/-1350	0/-1350	0/-1125	-12000/-1125	2700000.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 7	Abutment 0	-12000/-1575	0/-1575	0/-1350	-12000/-1350	2700000.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 8	Abutment 0	-12000/-1800	0/-1800	0/-1575	-12000/-1575	2700000.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 9	Abutment 0	-12000/-5400	2400/-5400	2400/-1800	-12000/-1800	51840000.00	25	X/Y/Rot	0/0/0	0	0
Block 0	Skewback 0	-12000/0	0/0	-745/84	-12000/84	974459.40	25	None	0/0/0	1246.24	0
Block 1	Span 1, Ring 1	0/0	37/260	-702/387	-745/84	213371.34	25	None	0/0/0	4.70	5.50
Block 2	Span 1, Ring 1	37/260	89/518	-641/688	-702/387	213371.34	25	None	0/0/0	6.26	35.21
Block 3	Span 1, Ring 1	89/518	156/772	-563/984	-641/688	213371.34	25	None	0/0/0	7.59	0
Block 4	Span 1, Ring 1	156/772	238/1021	-467/1275	-563/984	213371.34	25	None	0/0/0	8.70	48.18
Block 5	Span 1, Ring 1	238/1021	334/1266	-355/1561	-467/1275	213371.34	25	None	0/0/0	9.59	0
Block 6	Span 1, Ring 1	334/1266	444/1504	-227/1839	-355/1561	213371.34	25	None	0/0/0	10.28	0
Block 7	Span 1, Ring 1	444/1504	568/1736	-82/2109	-227/1839	213371.34	25	None	0/0/0	10.77	0
Block 8	Span 1, Ring 1	568/1736	705/1960	77/2370	-82/2109	213371.34	25	None	0/0/0	11.08	35.63
Block 9	Span 1, Ring 1	705/1960	855/2176	253/2622	77/2370	213371.34	25	None	0/0/0	11.23	0
Block 10	Span 1, Ring 1	855/2176	1018/2382	442/2863	253/2622	213371.34	25	None	0/0/0	11.22	35.44
Block 11	Span 1, Ring 1	1018/2382	1192/2579	645/3092	442/2863	213371.34	25	None	0/0/0	11.09	0
Block 12	Span 1, Ring 1	1192/2579	1377/2765	861/3310	645/3092	213371.34	25	None	0/0/0	10.85	0
Block 13	Span 1, Ring 1	1377/2765	1573/2940	1090/3514	861/3310	213371.34	25	None	0/0/0	10.51	0
Block 14	Span 1, Ring 1	1573/2940	1779/3104	1330/3704	1090/3514	213371.34	25	None	0/0/0	10.11	0
Block 15	Span 1, Ring 1	1779/3104	1994/3255	1581/3881	1330/3704	213371.34	25	None	0/0/0	9.66	0
Block 16	Span 1, Ring 1	1994/3255	2217/3393	1841/4042	1581/3881	213371.34	25	None	0/0/0	9.17	0
Block 17	Span 1, Ring 1	2217/3393	2448/3518	2111/4188	1841/4042	213371.34	25	None	0/0/0	8.68	9.53
Block 18	Span 1, Ring 1	2448/3518	2686/3630	2388/4318	2111/4188	213371.34	25	None	0/0/0	8.19	63.07
Block 19	Span 1, Ring 1	2686/3630	2930/3727	2673/4431	2388/4318	213371.34	25	None	0/0/0	7.73	567.42
Block 20	Span 1, Ring 1	2930/3727	3180/3810	2964/4528	2673/4431	213371.34	25	None	0/0/0	7.30	293.08

Block 21	Span 1, Ring 1	3180/3810	3433/3878	3260/4608	2964/4528	213371.34	25	None	0/0/0	6.93	0
Block 22	Span 1, Ring 1	3433/3878	3691/3931	3560/4670	3260/4608	213371.34	25	None	0/0/0	6.63	0
Block 23	Span 1, Ring 1	3691/3931	3951/3969	3863/4714	3560/4670	213371.34	25	None	0/0/0	6.39	0
Block 24	Span 1, Ring 1	3951/3969	4212/3992	4169/4741	3863/4714	213371.34	25	None	0/0/0	6.23	0
Block 25	Span 1, Ring 1	4212/3992	4475/4000	4475/4750	4169/4741	213371.34	25	None	0/0/0	6.11	0
Block 26	Span 1, Ring 1	4475/4000	4738/3992	4781/4741	4475/4750	213371.34	25	None	0/0/0	6.07	44.71
Block 27	Span 1, Ring 1	4738/3992	4999/3969	5087/4714	4781/4741	213371.34	25	None	0/0/0	6.12	133.97
Block 28	Span 1, Ring 1	4999/3969	5259/3931	5390/4670	5087/4714	213371.34	25	None	0/0/0	6.26	222.77
Block 29	Span 1, Ring 1	5259/3931	5517/3878	5690/4608	5390/4670	213371.34	25	None	0/0/0	6.48	310.81
Block 30	Span 1, Ring 1	5517/3878	5770/3810	5986/4528	5690/4608	213371.34	25	None	0/0/0	6.77	48.09
Block 31	Span 1, Ring 1	5770/3810	6020/3727	6277/4431	5986/4528	213371.34	25	None	0/0/0	7.13	47.72
Block 32	Span 1, Ring 1	6020/3727	6264/3630	6562/4318	6277/4431	213371.34	25	None	0/0/0	7.55	45.55
Block 33	Span 1, Ring 1	6264/3630	6502/3518	6839/4188	6562/4318	213371.34	25	None	0/0/0	8.00	41.92
Block 34	Span 1, Ring 1	6502/3518	6733/3393	7109/4042	6839/4188	213371.34	25	None	0/0/0	8.48	37.24
Block 35	Span 1, Ring 1	6733/3393	6956/3255	7369/3881	7109/4042	213371.34	25	None	0/0/0	8.97	31.92
Block 36	Span 1, Ring 1	6956/3255	7171/3104	7620/3704	7369/3881	213371.34	25	None	0/0/0	9.45	26.38
Block 37	Span 1, Ring 1	7171/3104	7377/2940	7860/3514	7620/3704	213371.34	25	None	0/0/0	9.90	20.98
Block 38	Span 1, Ring 1	7377/2940	7573/2765	8089/3310	7860/3514	213371.34	25	None	0/0/0	10.31	16.05
Block 39	Span 1, Ring 1	7573/2765	7758/2579	8305/3092	8089/3310	213371.34	25	None	0/0/0	10.64	11.83
Block 40	Span 1, Ring 1	7758/2579	7932/2382	8508/2863	8305/3092	213371.34	25	None	0/0/0	10.89	8.50
Block 41	Span 1, Ring 1	7932/2382	8095/2176	8697/2622	8508/2863	213371.34	25	None	0/0/0	11.03	6.13
Block 42	Span 1, Ring 1	8095/2176	8245/1960	8873/2370	8697/2622	213371.34	25	None	0/0/0	11.04	4.71
Block 43	Span 1, Ring 1	8245/1960	8382/1736	9033/2109	8873/2370	213371.34	25	None	0/0/0	10.91	4.18
Block 44	Span 1, Ring 1	8382/1736	8506/1504	9177/1839	9033/2109	213371.34	25	None	0/0/0	10.61	4.39
Block 45	Span 1, Ring 1	8506/1504	8616/1266	9306/1561	9177/1839	213371.34	25	None	0/0/0	10.14	5.17
Block 46	Span 1, Ring 1	8616/1266	8712/1021	9418/1275	9306/1561	213371.34	25	None	0/0/0	9.47	6.33
Block 47	Span 1, Ring 1	8712/1021	8794/772	9513/984	9418/1275	213371.34	25	None	0/0/0	8.59	3.87
Block 48	Span 1, Ring 1	8794/772	8861/518	9591/688	9513/984	213371.34	25	None	0/0/0	7.50	10.73
Block 49	Span 1, Ring 1	8861/518	8913/260	9652/387	9591/688	213371.34	25	None	0/0/0	6.19	13.95
Block 50	Span 1, Ring 1	8913/260	8950/0	9695/84	9652/387	213371.34	25	None	0/0/0	4.65	15.39
Block 1	Pier 1	8950/-225	11450/-225	11450/0	8950/0	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 2	Pier 1	8950/-450	11450/-450	11450/-225	8950/-225	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 3	Pier 1	8950/-675	11450/-675	11450/-450	8950/-450	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 4	Pier 1	8950/-900	11450/-900	11450/-675	8950/-675	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 5	Pier 1	8950/-1125	11450/-1125	11450/-900	8950/-900	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 6	Pier 1	8950/-1350	11450/-1350	11450/-1125	8950/-1125	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 7	Pier 1	8950/-1575	11450/-1575	11450/-1350	8950/-1350	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 8	Pier 1	8950/-1800	11450/-1800	11450/-1575	8950/-1575	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 9	Pier 1	8450/-2550	11950/-2550	11950/-1800	8450/-1800	2625000.00	25	X/Y/Rot	0/0/0	0	0
Block 0	Skewback 1	8950/0	11450/0	10705/84	9695/84	147056.84	25	None	0/0/0	111.78	0
Block 1	Span 2, Ring 1	11450/0	11487/260	10748/387	10705/84	213371.34	25	None	0/0/0	4.63	15.39
Block 2	Span 2, Ring 1	11487/260	11539/518	10809/688	10748/387	213371.34	25	None	0/0/0	6.16	13.95
Block 3	Span 2, Ring 1	11539/518	11606/772	10887/984	10809/688	213371.34	25	None	0/0/0	7.46	10.73
Block 4	Span 2, Ring 1	11606/772	11688/1021	10982/1275	10887/984	213371.34	25	None	0/0/0	8.53	3.87
Block 5	Span 2, Ring 1	11688/1021	11784/1266	11094/1561	10982/1275	213371.34	25	None	0/0/0	9.39	6.33
Block 6	Span 2, Ring 1	11784/1266	11894/1504	11223/1839	11094/1561	213371.34	25	None	0/0/0	10.03	5.17
Block 7	Span 2, Ring 1	11894/1504	12018/1736	11367/2109	11223/1839	213371.34	25	None	0/0/0	10.48	4.39

Block 8	Span 2, Ring 1	12018/1736	12155/1960	11527/2370	11367/2109	213371.34	25	None	0/0/0	10.74	4.18
Block 9	Span 2, Ring 1	12155/1960	12305/2176	11703/2622	11527/2370	213371.34	25	None	0/0/0	10.84	4.71
Block 10	Span 2, Ring 1	12305/2176	12468/2382	11892/2863	11703/2622	213371.34	25	None	0/0/0	10.78	6.13
Block 11	Span 2, Ring 1	12468/2382	12642/2579	12095/3092	11892/2863	213371.34	25	None	0/0/0	10.59	8.50
Block 12	Span 2, Ring 1	12642/2579	12827/2765	12311/3310	12095/3092	213371.34	25	None	0/0/0	10.28	11.83
Block 13	Span 2, Ring 1	12827/2765	13023/2940	12540/3514	12311/3310	213371.34	25	None	0/0/0	9.88	16.05
Block 14	Span 2, Ring 1	13023/2940	13229/3104	12780/3704	12540/3514	213371.34	25	None	0/0/0	9.41	20.98
Block 15	Span 2, Ring 1	13229/3104	13444/3255	13031/3881	12780/3704	213371.34	25	None	0/0/0	8.89	26.38
Block 16	Span 2, Ring 1	13444/3255	13667/3393	13291/4042	13031/3881	213371.34	25	None	0/0/0	8.33	31.92
Block 17	Span 2, Ring 1	13667/3393	13898/3518	13561/4188	13291/4042	213371.34	25	None	0/0/0	7.76	37.24
Block 18	Span 2, Ring 1	13898/3518	14136/3630	13838/4318	13561/4188	213371.34	25	None	0/0/0	7.19	41.92
Block 19	Span 2, Ring 1	14136/3630	14380/3727	14123/4431	13838/4318	213371.34	25	None	0/0/0	6.65	45.55
Block 20	Span 2, Ring 1	14380/3727	14630/3810	14414/4528	14123/4431	213371.34	25	None	0/0/0	6.15	47.72
Block 21	Span 2, Ring 1	14630/3810	14883/3878	14710/4608	14414/4528	213371.34	25	None	0/0/0	5.70	48.09
Block 22	Span 2, Ring 1	14883/3878	15141/3931	15010/4670	14710/4608	213371.34	25	None	0/0/0	5.31	310.81
Block 23	Span 2, Ring 1	15141/3931	15401/3969	15313/4714	15010/4670	213371.34	25	None	0/0/0	5.01	222.77
Block 24	Span 2, Ring 1	15401/3969	15662/3992	15619/4741	15313/4714	213371.34	25	None	0/0/0	4.78	133.97
Block 25	Span 2, Ring 1	15662/3992	15925/4000	15925/4750	15619/4741	213371.34	25	None	0/0/0	4.65	44.71
Block 26	Span 2, Ring 1	15925/4000	16188/3992	16231/4741	15925/4750	213371.34	25	None	0/0/0	4.62	29.51
Block 27	Span 2, Ring 1	16188/3992	16449/3969	16537/4714	16231/4741	213371.34	25	None	0/0/0	4.70	0
Block 28	Span 2, Ring 1	16449/3969	16709/3931	16840/4670	16537/4714	213371.34	25	None	0/0/0	4.86	22.57
Block 29	Span 2, Ring 1	16709/3931	16967/3878	17140/4608	16840/4670	213371.34	25	None	0/0/0	5.12	0
Block 30	Span 2, Ring 1	16967/3878	17220/3810	17436/4528	17140/4608	213371.34	25	None	0/0/0	5.45	118.69
Block 31	Span 2, Ring 1	17220/3810	17470/3727	17727/4431	17436/4528	213371.34	25	None	0/0/0	5.86	80.90
Block 32	Span 2, Ring 1	17470/3727	17714/3630	18012/4318	17727/4431	213371.34	25	None	0/0/0	6.32	90.22
Block 33	Span 2, Ring 1	17714/3630	17952/3518	18289/4188	18012/4318	213371.34	25	None	0/0/0	6.82	94.39
Block 34	Span 2, Ring 1	17952/3518	18183/3393	18559/4042	18289/4188	213371.34	25	None	0/0/0	7.35	94.08
Block 35	Span 2, Ring 1	18183/3393	18406/3255	18819/3881	18559/4042	213371.34	25	None	0/0/0	7.90	90.17
Block 36	Span 2, Ring 1	18406/3255	18621/3104	19070/3704	18819/3881	213371.34	25	None	0/0/0	8.43	83.65
Block 37	Span 2, Ring 1	18621/3104	18827/2940	19310/3514	19070/3704	213371.34	25	None	0/0/0	8.94	75.43
Block 38	Span 2, Ring 1	18827/2940	19023/2765	19539/3310	19310/3514	213371.34	25	None	0/0/0	9.41	66.38
Block 39	Span 2, Ring 1	19023/2765	19208/2579	19755/3092	19539/3310	213371.34	25	None	0/0/0	9.80	57.23
Block 40	Span 2, Ring 1	19208/2579	19382/2382	19958/2863	19755/3092	213371.34	25	None	0/0/0	10.11	21.94
Block 41	Span 2, Ring 1	19382/2382	19545/2176	20147/2622	19958/2863	213371.34	25	None	0/0/0	10.31	4.76
Block 42	Span 2, Ring 1	19545/2176	19695/1960	20323/2370	20147/2622	213371.34	25	None	0/0/0	10.39	62.62
Block 43	Span 2, Ring 1	19695/1960	19832/1736	20483/2109	20323/2370	213371.34	25	None	0/0/0	10.32	0
Block 44	Span 2, Ring 1	19832/1736	19956/1504	20627/1839	20483/2109	213371.34	25	None	0/0/0	10.08	0
Block 45	Span 2, Ring 1	19956/1504	20066/1266	20756/1561	20627/1839	213371.34	25	None	0/0/0	9.67	0
Block 46	Span 2, Ring 1	20066/1266	20162/1021	20868/1275	20756/1561	213371.34	25	None	0/0/0	9.06	0
Block 47	Span 2, Ring 1	20162/1021	20244/772	20963/984	20868/1275	213371.34	25	None	0/0/0	8.25	0
Block 48	Span 2, Ring 1	20244/772	20311/518	21041/688	20963/984	213371.34	25	None	0/0/0	7.22	0
Block 49	Span 2, Ring 1	20311/518	20363/260	21102/387	21041/688	213371.34	25	None	0/0/0	5.98	82.15
Block 50	Span 2, Ring 1	20363/260	20400/0	21145/84	21102/387	213371.34	25	None	0/0/0	4.50	0

1

Block 1	Pier 2	20400/-225	22900/-225	22900/0	20400/0	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 2	Pier 2	20400/-450	22900/-450	22900/-225	20400/-225	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 3	Pier 2	20400/-675	22900/-675	22900/-450	20400/-450	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 4	Pier 2	20400/-900	22900/-900	22900/-675	20400/-675	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 5	Pier 2	20400/-1125	22900/-1125	22900/-900	20400/-900	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 6	Pier 2	20400/-1350	22900/-1350	22900/-1125	20400/-1125	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 7	Pier 2	20400/-1575	22900/-1575	22900/-1350	20400/-1350	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 8	Pier 2	20400/-1800	22900/-1800	22900/-1575	20400/-1575	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 9	Pier 2	19900/-2550	23400/-2550	23400/-1800	19900/-1800	2625000.00	25	X/Y/Rot	0/0/0	0	0
Block 0	Skewback 2	20400/0	22900/0	22155/84	21145/84	147056.84	25	None	0/0/0	108.35	0
Block 1	Span 3, Ring 1	22900/0	22937/260	22198/387	22155/84	213371.34	25	None	0/0/0	4.49	0
Block 2	Span 3, Ring 1	22937/260	22989/518	22259/688	22198/387	213371.34	25	None	0/0/0	5.96	82.15
Block 3	Span 3, Ring 1	22989/518	23056/772	22337/984	22259/688	213371.34	25	None	0/0/0	7.21	0
Block 4	Span 3, Ring 1	23056/772	23138/1021	22432/1275	22337/984	213371.34	25	None	0/0/0	8.22	0
Block 5	Span 3, Ring 1	23138/1021	23234/1266	22544/1561	22432/1275	213371.34	25	None	0/0/0	9.03	0
Block 6	Span 3, Ring 1	23234/1266	23344/1504	22673/1839	22544/1561	213371.34	25	None	0/0/0	9.63	0
Block 7	Span 3, Ring 1	23344/1504	23468/1736	22817/2109	22673/1839	213371.34	25	None	0/0/0	10.03	0
Block 8	Span 3, Ring 1	23468/1736	23605/1960	22977/2370	22817/2109	213371.34	25	None	0/0/0	10.25	0
Block 9	Span 3, Ring 1	23605/1960	23755/2176	23153/2622	22977/2370	213371.34	25	None	0/0/0	10.30	62.62
Block 10	Span 3, Ring 1	23755/2176	23918/2382	23342/2863	23153/2622	213371.34	25	None	0/0/0	10.21	4.76
Block 11	Span 3, Ring 1	23918/2382	24092/2579	23545/3092	23342/2863	213371.34	25	None	0/0/0	9.99	21.94
Block 12	Span 3, Ring 1	24092/2579	24277/2765	23761/3310	23545/3092	213371.34	25	None	0/0/0	9.65	57.23
Block 13	Span 3, Ring 1	24277/2765	24473/2940	23990/3514	23761/3310	213371.34	25	None	0/0/0	9.23	66.38
Block 14	Span 3, Ring 1	24473/2940	24679/3104	24230/3704	23990/3514	213371.34	25	None	0/0/0	8.74	75.43
Block 15	Span 3, Ring 1	24679/3104	24894/3255	24481/3881	24230/3704	213371.34	25	None	0/0/0	8.20	83.65
Block 16	Span 3, Ring 1	24894/3255	25117/3393	24741/4042	24481/3881	213371.34	25	None	0/0/0	7.63	90.17
Block 17	Span 3, Ring 1	25117/3393	25348/3518	25011/4188	24741/4042	213371.34	25	None	0/0/0	7.05	94.08
Block 18	Span 3, Ring 1	25348/3518	25586/3630	25288/4318	25011/4188	213371.34	25	None	0/0/0	6.48	94.39
Block 19	Span 3, Ring 1	25586/3630	25830/3727	25573/4431	25288/4318	213371.34	25	None	0/0/0	5.94	90.22
Block 20	Span 3, Ring 1	25830/3727	26080/3810	25864/4528	25573/4431	213371.34	25	None	0/0/0	5.44	80.90
Block 21	Span 3, Ring 1	26080/3810	26333/3878	26160/4608	25864/4528	213371.34	25	None	0/0/0	5.00	118.69
Block 22	Span 3, Ring 1	26333/3878	26591/3931	26460/4670	26160/4608	213371.34	25	None	0/0/0	4.63	0
Block 23	Span 3, Ring 1	26591/3931	26851/3969	26763/4714	26460/4670	213371.34	25	None	0/0/0	4.34	22.57
Block 24	Span 3, Ring 1	26851/3969	27112/3992	27069/4741	26763/4714	213371.34	25	None	0/0/0	4.14	0
Block 25	Span 3, Ring 1	27112/3992	27375/4000	27375/4750	27069/4741	213371.34	25	None	0/0/0	4.02	29.51
Block 26	Span 3, Ring 1	27375/4000	27638/3992	27681/4741	27375/4750	213371.34	25	None	0/0/0	4.00	38.19
Block 27	Span 3, Ring 1	27638/3992	27899/3969	27987/4714	27681/4741	213371.34	25	None	0/0/0	4.05	133.97
Block 28	Span 3, Ring 1	27899/3969	28159/3931	28290/4670	27987/4714	213371.34	25	None	0/0/0	4.19	98.10
Block 29	Span 3, Ring 1	28159/3931	28417/3878	28590/4608	28290/4670	213371.34	25	None	0/0/0	4.42	109.62
Block 30	Span 3, Ring 1	28417/3878	28670/3810	28886/4528	28590/4608	213371.34	25	None	0/0/0	4.73	115.08
Block 31	Span 3, Ring 1	28670/3810	28920/3727	29177/4431	28886/4528	213371.34	25	None	0/0/0	5.11	115.01
Block 32	Span 3, Ring 1	28920/3727	29164/3630	29462/4318	29177/4431	213371.34	25	None	0/0/0	5.56	41.75
Block 33	Span 3, Ring 1	29164/3630	29402/3518	29739/4188	29462/4318	213371.34	25	None	0/0/0	6.05	0
Block 34	Span 3, Ring 1	29402/3518	29633/3393	30009/4042	29739/4188	213371.34	25	None	0/0/0	6.58	0
Block 35	Span 3, Ring 1	29633/3393	29856/3255	30269/3881	30009/4042	213371.34	25	None	0/0/0	7.12	0
Block 36	Span 3, Ring 1	29856/3255	30071/3104	30520/3704	30269/3881	213371.34	25	None	0/0/0	7.67	585.82
Block 37	Span 3, Ring 1	30071/3104	30277/2940	30760/3514	30520/3704	213371.34	25	None	0/0/0	8.19	0.00

	1												
Block 38	Span 3, Ring 1	30277/2940	30473/2765	30989/3310	30760/3514	213371.34	25	None	0/0/0	8.67	0		
Block 39	Span 3, Ring 1	30473/2765	30658/2579	31205/3092	30989/3310	213371.34	25	None	0/0/0	9.08	0		
Block 40	Span 3, Ring 1	30658/2579	30832/2382	31408/2863	31205/3092	213371.34	25	None	0/0/0	9.42	0		
Block 41	Span 3, Ring 1	30832/2382	30995/2176	31597/2622	31408/2863	213371.34	25	None	0/0/0	9.66	0		
Block 42	Span 3, Ring 1	30995/2176	31145/1960	31773/2370	31597/2622	213371.34	25	None	0/0/0	9.77	0		
Block 43	Span 3, Ring 1	31145/1960	31282/1736	31933/2109	31773/2370	213371.34	25	None	0/0/0	9.74	0		
Block 44	Span 3, Ring 1	31282/1736	31406/1504	32077/1839	31933/2109	213371.34	25	None	0/0/0	9.55	0		
Block 45	Span 3, Ring 1	31406/1504	31516/1266	32206/1561	32077/1839	213371.34	25	None	0/0/0	9.19	0		
Block 46	Span 3, Ring 1	31516/1266	31612/1021	32318/1275	32206/1561	213371.34	25	None	0/0/0	8.64	0		
Block 47	Span 3, Ring 1	31612/1021	31694/772	32413/984	32318/1275	213371.34	25	None	0/0/0	7.89	0		
Block 48	Span 3, Ring 1	31694/772	31761/518	32491/688	32413/984	213371.34	25	None	0/0/0	6.92	0		
Block 49	Span 3, Ring 1	31761/518	31813/260	32552/387	32491/688	213371.34	25	None	0/0/0	5.74	0.00		
Block 50	Span 3, Ring 1	31813/260	31850/0	32595/84	32552/387	213371.34	25	None	0/0/0	4.33	4.59		
Block 1	Pier 3	31850/-225	34350/-225	34350/0	31850/0	562500.00	25	None	0/0/0	0	0		
Block 2	Pier 3	31850/-450	34350/-450	34350/-225	31850/-225	562500.00	25	None	0/0/0	0	0		
Block 3	Pier 3	31850/-675	34350/-675	34350/-450	31850/-450	562500.00	25	None	0/0/0	0	0		
Block 4	Pier 3	31850/-900	34350/-900	34350/-675	31850/-675	562500.00	25	None	0/0/0	0	0		
Block 5	Pier 3	31850/-1125	34350/-1125	34350/-900	31850/-900	562500.00	25	None	0/0/0	0	0		
Block 6	Pier 3	31850/-1350	34350/-1350	34350/-1125	31850/-1125	562500.00	25	None	0/0/0	0	0		
Block 7	Pier 3	31850/-1575	34350/-1575	34350/-1350	31850/-1350	562500.00	25	None	0/0/0	0	0		
Block 8	Pier 3	31850/-1800	34350/-1800	34350/-1575	31850/-1575	562500.00	25	None	0/0/0	0	0		
Block 9	Pier 3	31350/-2550	34850/-2550	34850/-1800	31350/-1800	2625000.00	25	X/Y/Rot	0/0/0	0	0		
Block 0	Skewback 3	31850/0	34350/0	33605/84	32595/84	147056.84	25	None	0/0/0	104.24	0		
Block 1	Span 4, Ring 1	34350/0	34387/260	33648/387	33605/84	213371.34	25	None	0/0/0	4.31	4.59		
Block 2	Span 4, Ring 1	34387/260	34439/518	33709/688	33648/387	213371.34	25	None	0/0/0	5.70	0.00		
Block 3	Span 4, Ring 1	34439/518	34506/772	33787/984	33709/688	213371.34	25	None	0/0/0	6.87	0		
Block 4	Span 4, Ring 1	34506/772	34588/1021	33882/1275	33787/984	213371.34	25	None	0/0/0	7.81	0		
Block 5	Span 4, Ring 1	34588/1021	34684/1266	33994/1561	33882/1275	213371.34	25	None	0/0/0	8.54	0		
Block 6	Span 4, Ring 1	34684/1266	34794/1504	34123/1839	33994/1561	213371.34	25	None	0/0/0	9.06	0		
Block 7	Span 4, Ring 1	34794/1504	34918/1736	34267/2109	34123/1839	213371.34	25	None	0/0/0	9.38	0		
Block 8	Span 4, Ring 1	34918/1736	35055/1960	34427/2370	34267/2109	213371.34	25	None	0/0/0	9.52	0		
Block 9	Span 4, Ring 1	35055/1960	35205/2176	34603/2622	34427/2370	213371.34	25	None	0/0/0	9.50	0		
Block 10	Span 4, Ring 1	35205/2176	35368/2382	34792/2863	34603/2622	213371.34	25	None	0/0/0	9.33	0		
Block 11	Span 4, Ring 1	35368/2382	35542/2579	34995/3092	34792/2863	213371.34	25	None	0/0/0	9.02	0		
Block 12	Span 4, Ring 1	35542/2579	35727/2765	35211/3310	34995/3092	213371.34	25	None	0/0/0	8.61	0		
Block 13	Span 4, Ring 1	35727/2765	35923/2940	35440/3514	35211/3310	213371.34	25	None	0/0/0	8.11	0		
Block 14	Span 4, Ring 1	35923/2940	36129/3104	35680/3704	35440/3514	213371.34	25	None	0/0/0	7.54	0.00		
Block 15	Span 4, Ring 1	36129/3104	36344/3255	35931/3881	35680/3704	213371.34	25	None	0/0/0	6.93	585.82		
Block 16	Span 4, Ring 1	36344/3255	36567/3393	36191/4042	35931/3881	213371.34	25	None	0/0/0	6.28	0		
Block 17	Span 4, Ring 1	36567/3393	36798/3518	36461/4188	36191/4042	213371.34	25	None	0/0/0	5.63	0		
Block 18	Span 4, Ring 1	36798/3518	37036/3630	36738/4318	36461/4188	213371.34	25	None	0/0/0	4.99	0		
Block 19	Span 4, Ring 1	37036/3630	37280/3727	37023/4431	36738/4318	213371.34	25	None	0/0/0	4.38	41.75		
Block 20	Span 4, Ring 1	37280/3727	37530/3810	37314/4528	37023/4431	213371.34	25	None	0/0/0	3.82	115.01		
Block 21	Span 4, Ring 1	37530/3810	37783/3878	37610/4608	37314/4528	213371.34	25	None	0/0/0	3.32	115.08		
Block 22	Span 4, Ring 1	37783/3878	38041/3931	37910/4670	37610/4608	213371.34	25	None	0/0/0	2.89	109.62		
Block 23	Span 4, Ring 1	38041/3931	38301/3969	38213/4714	37910/4670	213371.34	25	None	0/0/0	2.55	98.10		
Block 24	Span 4, Ring 1	38301/3969	38562/3992	38519/4741	38213/4714	213371.34	25	None	0/0/0	2.30	133.97		

	1											
Block 25	Span 4, Ring 1	38562/3992	38825/4000	38825/4750	38519/4741	213371.34	25	None	0/0/0	2.19	38.19	
Block 26	Span 4, Ring 1	38825/4000	39088/3992	39131/4741	38825/4750	213371.34	25	None	0/0/0	2.21	0	
Block 27	Span 4, Ring 1	39088/3992	39349/3969	39437/4714	39131/4741	213371.34	25	None	0/0/0	2.34	0	
Block 28	Span 4, Ring 1	39349/3969	39609/3931	39740/4670	39437/4714	213371.34	25	None	0/0/0	2.56	26.04	
Block 29	Span 4, Ring 1	39609/3931	39867/3878	40040/4608	39740/4670	213371.34	25	None	0/0/0	2.88	51.18	
Block 30	Span 4, Ring 1	39867/3878	40120/3810	40336/4528	40040/4608	213371.34	25	None	0/0/0	3.28	71.71	
Block 31	Span 4, Ring 1	40120/3810	40370/3727	40627/4431	40336/4528	213371.34	25	None	0/0/0	3.76	86.66	
Block 32	Span 4, Ring 1	40370/3727	40614/3630	40912/4318	40627/4431	213371.34	25	None	0/0/0	4.30	95.80	
Block 33	Span 4, Ring 1	40614/3630	40852/3518	41189/4188	40912/4318	213371.34	25	None	0/0/0	4.89	0.57	
Block 34	Span 4, Ring 1	40852/3518	41083/3393	41459/4042	41189/4188	213371.34	25	None	0/0/0	5.51	0	
Block 35	Span 4, Ring 1	41083/3393	41306/3255	41719/3881	41459/4042	213371.34	25	None	0/0/0	6.14	24.49	
Block 36	Span 4, Ring 1	41306/3255	41521/3104	41970/3704	41719/3881	213371.34	25	None	0/0/0	6.78	72.83	
Block 37	Span 4, Ring 1	41521/3104	41727/2940	42210/3514	41970/3704	213371.34	25	None	0/0/0	7.38	105.57	
Block 38	Span 4, Ring 1	41727/2940	41923/2765	42439/3310	42210/3514	213371.34	25	None	0/0/0	7.94	124.37	
Block 39	Span 4, Ring 1	41923/2765	42108/2579	42655/3092	42439/3310	213371.34	25	None	0/0/0	8.44	132.20	
Block 40	Span 4, Ring 1	42108/2579	42282/2382	42858/2863	42655/3092	213371.34	25	None	0/0/0	8.85	132.28	
Block 41	Span 4, Ring 1	42282/2382	42445/2176	43047/2622	42858/2863	213371.34	25	None	0/0/0	9.15	127.45	
Block 42	Span 4, Ring 1	42445/2176	42595/1960	43223/2370	43047/2622	213371.34	25	None	0/0/0	9.33	120.00	
Block 43	Span 4, Ring 1	42595/1960	42732/1736	43383/2109	43223/2370	213371.34	25	None	0/0/0	9.36	69.90	
Block 44	Span 4, Ring 1	42732/1736	42856/1504	43527/1839	43383/2109	213371.34	25	None	0/0/0	9.23	0	
Block 45	Span 4, Ring 1	42856/1504	42966/1266	43656/1561	43527/1839	213371.34	25	None	0/0/0	8.92	0	
Block 46	Span 4, Ring 1	42966/1266	43062/1021	43768/1275	43656/1561	213371.34	25	None	0/0/0	8.41	0	
Block 47	Span 4, Ring 1	43062/1021	43144/772	43863/984	43768/1275	213371.34	25	None	0/0/0	7.70	0	
Block 48	Span 4, Ring 1	43144/772	43211/518	43941/688	43863/984	213371.34	25	None	0/0/0	6.78	0	
Block 49	Span 4, Ring 1	43211/518	43263/260	44002/387	43941/688	213371.34	25	None	0/0/0	5.63	0	
Block 50	Span 4, Ring 1	43263/260	43300/0	44045/84	44002/387	213371.34	25	None	0/0/0	4.26	0	
Block 1	Pier 4	43300/-225	45800/-225	45800/0	43300/0	562500.00	25	None	0/0/0	0	0	
Block 2	Pier 4	43300/-450	45800/-450	45800/-225	43300/-225	562500.00	25	None	0/0/0	0	0	
Block 3	Pier 4	43300/-675	45800/-675	45800/-450	43300/-450	562500.00	25	None	0/0/0	0	0	
Block 4	Pier 4	43300/-900	45800/-900	45800/-675	43300/-675	562500.00	25	None	0/0/0	0	0	
Block 5	Pier 4	43300/-1125	45800/-1125	45800/-900	43300/-900	562500.00	25	None	0/0/0	0	0	
Block 6	Pier 4	43300/-1350	45800/-1350	45800/-1125	43300/-1125	562500.00	25	None	0/0/0	0	0	
Block 7	Pier 4	43300/-1575	45800/-1575	45800/-1350	43300/-1350	562500.00	25	None	0/0/0	0	0	
Block 8	Pier 4	43300/-1800	45800/-1800	45800/-1575	43300/-1575	562500.00	25	None	0/0/0	0	0	
Block 9	Pier 4	42800/-2550	46300/-2550	46300/-1800	42800/-1800	2625000.00	25	X/Y/Rot	0/0/0	0	0	
Block 0	Skewback 4	43300/0	45800/0	45055/84	44045/84	147056.84	25	None	0/0/0	102.86	0	
Block 1	Span 5, Ring 1	45800/0	45837/260	45098/387	45055/84	213371.34	25	None	0/0/0	4.27	0	
Block 2	Span 5, Ring 1	45837/260	45889/518	45159/688	45098/387	213371.34	25	None	0/0/0	5.65	0	
Block 3	Span 5, Ring 1	45889/518	45956/772	45237/984	45159/688	213371.34	25	None	0/0/0	6.80	0	
Block 4	Span 5, Ring 1	45956/772	46038/1021	45332/1275	45237/984	213371.34	25	None	0/0/0	7.74	0	
Block 5	Span 5, Ring 1	46038/1021	46134/1266	45444/1561	45332/1275	213371.34	25	None	0/0/0	8.46	0	
Block 6	Span 5, Ring 1	46134/1266	46244/1504	45573/1839	45444/1561	213371.34	25	None	0/0/0	8.98	0	
Block 7	Span 5, Ring 1	46244/1504	46368/1736	45717/2109	45573/1839	213371.34	25	None	0/0/0	9.31	0	
Block 8	Span 5, Ring 1	46368/1736	46505/1960	45877/2370	45717/2109	213371.34	25	None	0/0/0	9.46	69.90	
Block 9	Span 5, Ring 1	46505/1960	46655/2176	46053/2622	45877/2370	213371.34	25	None	0/0/0	9.46	120.00	
Block 10	Span 5, Ring 1	46655/2176	46818/2382	46242/2863	46053/2622	213371.34	25	None	0/0/0	9.31	127.45	
Block 11	Span 5, Ring 1	46818/2382	46992/2579	46445/3092	46242/2863	213371.34	25	None	0/0/0	9.04	132.28	

	1											
Block 12	Span 5, Ring 1	46992/2579	47177/2765	46661/3310	46445/3092	213371.34	25	None	0/0/0	8.67	132.20	
Block 13	Span 5, Ring 1	47177/2765	47373/2940	46890/3514	46661/3310	213371.34	25	None	0/0/0	8.21	124.37	
Block 14	Span 5, Ring 1	47373/2940	47579/3104	47130/3704	46890/3514	213371.34	25	None	0/0/0	7.69	105.57	
Block 15	Span 5, Ring 1	47579/3104	47794/3255	47381/3881	47130/3704	213371.34	25	None	0/0/0	7.13	72.83	
Block 16	Span 5, Ring 1	47794/3255	48017/3393	47641/4042	47381/3881	213371.34	25	None	0/0/0	6.55	24.49	
Block 17	Span 5, Ring 1	48017/3393	48248/3518	47911/4188	47641/4042	213371.34	25	None	0/0/0	5.96	0	
Block 18	Span 5, Ring 1	48248/3518	48486/3630	48188/4318	47911/4188	213371.34	25	None	0/0/0	5.39	0.57	
Block 19	Span 5, Ring 1	48486/3630	48730/3727	48473/4431	48188/4318	213371.34	25	None	0/0/0	4.86	95.80	
Block 20	Span 5, Ring 1	48730/3727	48980/3810	48764/4528	48473/4431	213371.34	25	None	0/0/0	4.38	86.66	
Block 21	Span 5, Ring 1	48980/3810	49233/3878	49060/4608	48764/4528	213371.34	25	None	0/0/0	3.95	71.71	
Block 22	Span 5, Ring 1	49233/3878	49491/3931	49360/4670	49060/4608	213371.34	25	None	0/0/0	3.61	51.18	
Block 23	Span 5, Ring 1	49491/3931	49751/3969	49663/4714	49360/4670	213371.34	25	None	0/0/0	3.35	26.04	
Block 24	Span 5, Ring 1	49751/3969	50012/3992	49969/4741	49663/4714	213371.34	25	None	0/0/0	3.17	0	
Block 25	Span 5, Ring 1	50012/3992	50275/4000	50275/4750	49969/4741	213371.34	25	None	0/0/0	3.09	0	
Block 26	Span 5, Ring 1	50275/4000	50538/3992	50581/4741	50275/4750	213371.34	25	None	0/0/0	3.09	0	
Block 27	Span 5, Ring 1	50538/3992	50799/3969	50887/4714	50581/4741	213371.34	25	None	0/0/0	3.19	0.00	
Block 28	Span 5, Ring 1	50799/3969	51059/3931	51190/4670	50887/4714	213371.34	25	None	0/0/0	3.38	22.96	
Block 29	Span 5, Ring 1	51059/3931	51317/3878	51490/4608	51190/4670	213371.34	25	None	0/0/0	3.67	48.49	
Block 30	Span 5, Ring 1	51317/3878	51570/3810	51786/4528	51490/4608	213371.34	25	None	0/0/0	4.04	69.54	
Block 31	Span 5, Ring 1	51570/3810	51820/3727	52077/4431	51786/4528	213371.34	25	None	0/0/0	4.48	85.07	
Block 32	Span 5, Ring 1	51820/3727	52064/3630	52362/4318	52077/4431	213371.34	25	None	0/0/0	4.98	46.45	
Block 33	Span 5, Ring 1	52064/3630	52302/3518	52639/4188	52362/4318	213371.34	25	None	0/0/0	5.54	0	
Block 34	Span 5, Ring 1	52302/3518	52533/3393	52909/4042	52639/4188	213371.34	25	None	0/0/0	6.12	0	
Block 35	Span 5, Ring 1	52533/3393	52756/3255	53169/3881	52909/4042	213371.34	25	None	0/0/0	6.72	47.47	
Block 36	Span 5, Ring 1	52756/3255	52971/3104	53420/3704	53169/3881	213371.34	25	None	0/0/0	7.31	90.47	
Block 37	Span 5, Ring 1	52971/3104	53177/2940	53660/3514	53420/3704	213371.34	25	None	0/0/0	7.88	118.09	
Block 38	Span 5, Ring 1	53177/2940	53373/2765	53889/3310	53660/3514	213371.34	25	None	0/0/0	8.40	132.57	
Block 39	Span 5, Ring 1	53373/2765	53558/2579	54105/3092	53889/3310	213371.34	25	None	0/0/0	8.86	137.09	
Block 40	Span 5, Ring 1	53558/2579	53732/2382	54308/2863	54105/3092	213371.34	25	None	0/0/0	9.23	134.79	
Block 41	Span 5, Ring 1	53732/2382	53895/2176	54497/2622	54308/2863	213371.34	25	None	0/0/0	9.50	128.36	
Block 42	Span 5, Ring 1	53895/2176	54045/1960	54673/2370	54497/2622	213371.34	25	None	0/0/0	9.64	119.89	
Block 43	Span 5, Ring 1	54045/1960	54182/1736	54833/2109	54673/2370	213371.34	25	None	0/0/0	9.64	68.61	
Block 44	Span 5, Ring 1	54182/1736	54306/1504	54977/1839	54833/2109	213371.34	25	None	0/0/0	9.47	0	
Block 45	Span 5, Ring 1	54306/1504	54416/1266	55106/1561	54977/1839	213371.34	25	None	0/0/0	9.13	0	
Block 46	Span 5, Ring 1	54416/1266	54512/1021	55218/1275	55106/1561	213371.34	25	None	0/0/0	8.59	0	
Block 47	Span 5, Ring 1	54512/1021	54594/772	55313/984	55218/1275	213371.34	25	None	0/0/0	7.85	0	
Block 48	Span 5, Ring 1	54594/772	54661/518	55391/688	55313/984	213371.34	25	None	0/0/0	6.90	0	
Block 49	Span 5, Ring 1	54661/518	54713/260	55452/387	55391/688	213371.34	25	None	0/0/0	5.73	0	
Block 50	Span 5, Ring 1	54713/260	54750/0	55495/84	55452/387	213371.34	25	None	0/0/0	4.32	0	
Block 1	Pier 5	54750/-225	57250/-225	57250/0	54750/0	562500.00	25	None	0/0/0	0	0	
Block 2	Pier 5	54750/-450	57250/-450	57250/-225	54750/-225	562500.00	25	None	0/0/0	0	0	
Block 3	Pier 5	54750/-675	57250/-675	57250/-450	54750/-450	562500.00	25	None	0/0/0	0	0	
Block 4	Pier 5	54750/-900	57250/-900	57250/-675	54750/-675	562500.00	25	None	0/0/0	0	0	
Block 5	Pier 5	54750/-1125	57250/-1125	57250/-900	54750/-900	562500.00	25	None	0/0/0	0	0	
Block 6	Pier 5	54750/-1350	57250/-1350	57250/-1125	54750/-1125	562500.00	25	None	0/0/0	0	0	

Block 7	Pier 5	54750/-1575	57250/-1575	57250/-1350	54750/-1350	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 8	Pier 5	54750/-1800	57250/-1800	57250/-1575	54750/-1575	562500.00	25	None	0/0/0	0	0
Block 9	Pier 5	54250/-2550	57750/-2550	57750/-1800	54250/-1800	2625000.00	25	X/Y/Rot	0/0/0	0	0
Block 0	Skewback 5	54750/0	57250/0	56505/84	55495/84	147056.84	25	None	0/0/0	104.29	0
Block 1	Span 6, Ring 1	57250/0	57287/260	56548/387	56505/84	213371.34	25	None	0/0/0	4.32	0
Block 2	Span 6, Ring 1	57287/260	57339/518	56609/688	56548/387	213371.34	25	None	0/0/0	5.73	0
Block 3	Span 6, Ring 1	57339/518	57406/772	56687/984	56609/688	213371.34	25	None	0/0/0	6.90	0
Block 4	Span 6, Ring 1	57406/772	57488/1021	56782/1275	56687/984	213371.34	25	None	0/0/0	7.85	0
Block 5	Span 6, Ring 1	57488/1021	57584/1266	56894/1561	56782/1275	213371.34	25	None	0/0/0	8.59	0
Block 6	Span 6, Ring 1	57584/1266	57694/1504	57023/1839	56894/1561	213371.34	25	None	0/0/0	9.13	0
Block 7	Span 6, Ring 1	57694/1504	57818/1736	57167/2109	57023/1839	213371.34	25	None	0/0/0	9.47	0
Block 8	Span 6, Ring 1	57818/1736	57955/1960	57327/2370	57167/2109	213371.34	25	None	0/0/0	9.64	68.61
Block 9	Span 6, Ring 1	57955/1960	58105/2176	57503/2622	57327/2370	213371.34	25	None	0/0/0	9.64	119.89
Block 10	Span 6, Ring 1	58105/2176	58268/2382	57692/2863	57503/2622	213371.34	25	None	0/0/0	9.50	128.36
Block 11	Span 6, Ring 1	58268/2382	58442/2579	57895/3092	57692/2863	213371.34	25	None	0/0/0	9.23	134.79
Block 12	Span 6, Ring 1	58442/2579	58627/2765	58111/3310	57895/3092	213371.34	25	None	0/0/0	8.86	137.09
Block 13	Span 6, Ring 1	58627/2765	58823/2940	58340/3514	58111/3310	213371.34	25	None	0/0/0	8.40	132.57
Block 14	Span 6, Ring 1	58823/2940	59029/3104	58580/3704	58340/3514	213371.34	25	None	0/0/0	7.88	118.09
Block 15	Span 6, Ring 1	59029/3104	59244/3255	58831/3881	58580/3704	213371.34	25	None	0/0/0	7.31	90.47
Block 16	Span 6, Ring 1	59244/3255	59467/3393	59091/4042	58831/3881	213371.34	25	None	0/0/0	6.72	47.47
Block 17	Span 6, Ring 1	59467/3393	59698/3518	59361/4188	59091/4042	213371.34	25	None	0/0/0	6.12	0
Block 18	Span 6, Ring 1	59698/3518	59936/3630	59638/4318	59361/4188	213371.34	25	None	0/0/0	5.54	0
Block 19	Span 6, Ring 1	59936/3630	60180/3727	59923/4431	59638/4318	213371.34	25	None	0/0/0	4.98	46.45
Block 20	Span 6, Ring 1	60180/3727	60430/3810	60214/4528	59923/4431	213371.34	25	None	0/0/0	4.48	85.07
Block 21	Span 6, Ring 1	60430/3810	60683/3878	60510/4608	60214/4528	213371.34	25	None	0/0/0	4.04	69.54
Block 22	Span 6, Ring 1	60683/3878	60941/3931	60810/4670	60510/4608	213371.34	25	None	0/0/0	3.67	48.49
Block 23	Span 6, Ring 1	60941/3931	61201/3969	61113/4714	60810/4670	213371.34	25	None	0/0/0	3.38	22.96
Block 24	Span 6, Ring 1	61201/3969	61462/3992	61419/4741	61113/4714	213371.34	25	None	0/0/0	3.19	0.00
Block 25	Span 6, Ring 1	61462/3992	61725/4000	61725/4750	61419/4741	213371.34	25	None	0/0/0	3.09	0
Block 26	Span 6, Ring 1	61725/4000	61988/3992	62031/4741	61725/4750	213371.34	25	None	0/0/0	3.09	44.71
Block 27	Span 6, Ring 1	61988/3992	62249/3969	62337/4714	62031/4741	213371.34	25	None	0/0/0	3.19	133.97
Block 28	Span 6, Ring 1	62249/3969	62509/3931	62640/4670	62337/4714	213371.34	25	None	0/0/0	3.38	105.98
Block 29	Span 6, Ring 1	62509/3931	62767/3878	62940/4608	62640/4670	213371.34	25	None	0/0/0	3.67	111.06
Block 30	Span 6, Ring 1	62767/3878	63020/3810	63236/4528	62940/4608	213371.34	25	None	0/0/0	4.04	115.97
Block 31	Span 6, Ring 1	63020/3810	63270/3727	63527/4431	63236/4528	213371.34	25	None	0/0/0	4.48	28.75
Block 32	Span 6, Ring 1	63270/3727	63514/3630	63812/4318	63527/4431	213371.34	25	None	0/0/0	4.98	0
Block 33	Span 6, Ring 1	63514/3630	63752/3518	64089/4188	63812/4318	213371.34	25	None	0/0/0	5.54	0
Block 34	Span 6, Ring 1	63752/3518	63983/3393	64359/4042	64089/4188	213371.34	25	None	0/0/0	6.12	266.92
Block 35	Span 6, Ring 1	63983/3393	64206/3255	64619/3881	64359/4042	213371.34	25	None	0/0/0	6.72	0
Block 36	Span 6, Ring 1	64206/3255	64421/3104	64870/3704	64619/3881	213371.34	25	None	0/0/0	7.31	440.92
Block 37	Span 6, Ring 1	64421/3104	64627/2940	65110/3514	64870/3704	213371.34	25	None	0/0/0	7.88	0
Block 38	Span 6, Ring 1	64627/2940	64823/2765	65339/3310	65110/3514	213371.34	25	None	0/0/0	8.40	0
Block 39	Span 6, Ring 1	64823/2765	65008/2579	65555/3092	65339/3310	213371.34	25	None	0/0/0	8.86	0
Block 40	Span 6, Ring 1	65008/2579	65182/2382	65758/2863	65555/3092	213371.34	25	None	0/0/0	9.23	0
Block 41	Span 6, Ring 1	65182/2382	65345/2176	65947/2622	65758/2863	213371.34	25	None	0/0/0	9.50	0

Block 42	Span 6, Ring 1	65345/2176	65495/1960	66123/2370	65947/2622	213371.34	25	None	0/0/0	9.64	0
Block 43	Span 6, Ring 1	65495/1960	65632/1736	66283/2109	66123/2370	213371.34	25	None	0/0/0	9.64	0
Block 44	Span 6, Ring 1	65632/1736	65756/1504	66427/1839	66283/2109	213371.34	25	None	0/0/0	9.47	0
Block 45	Span 6, Ring 1	65756/1504	65866/1266	66556/1561	66427/1839	213371.34	25	None	0/0/0	9.13	0
Block 46	Span 6, Ring 1	65866/1266	65962/1021	66668/1275	66556/1561	213371.34	25	None	0/0/0	8.59	0
Block 47	Span 6, Ring 1	65962/1021	66044/772	66763/984	66668/1275	213371.34	25	None	0/0/0	7.85	0
Block 48	Span 6, Ring 1	66044/772	66111/518	66841/688	66763/984	213371.34	25	None	0/0/0	6.90	0
Block 49	Span 6, Ring 1	66111/518	66163/260	66902/387	66841/688	213371.34	25	None	0/0/0	5.73	0
Block 50	Span 6, Ring 1	66163/260	66200/0	66945/84	66902/387	213371.34	25	None	0/0/0	4.32	4.64
Block 1	Abutment 6	66200/-333	82200/-333	82200/0	66200/0	5333333.33	25	None	0/0/0	0	0
Block 2	Abutment 6	66200/-666	82200/-666	82200/-333	66200/-333	5333333.33	25	None	0/0/0	0	0
Block 3	Abutment 6	66200/-1000	82200/-1000	82200/-666	66200/-666	5333333.33	25	None	0/0/0	0	0
Block 4	Abutment 6	63000/-5800	82200/-5800	82200/-1000	63000/-1000	92160000	25	X/Y/Rot	0/0/0	0	0
Block 0	Skewback 6	66200/0	82200/0	82200/84	66945/84	1309689.53	25	None	0/0/0	1576.17	0

**Key:**

X = X direction, Y = Y direction, Rot. = Rotation

# Contacts

Label	Position	Point 1	Point 2	Length	Loss A	Loss B	CS	FC	Status	Inter-ring?	Normal	Shear	Moment
Contact 0	Abutment 0	0/0	-12000/0	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1640.89	1147.48	2874929.02
Contact 1	Abutment 0	0/-225	-12000/-225	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1708.39	1147.48	3133112.78
Contact 2	Abutment 0	0/-450	-12000/-450	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1775.89	1147.48	3391296.54
Contact 3	Abutment 0	0/-675	-12000/-675	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1843.39	1147.48	3649480.29
Contact 4	Abutment 0	0/-900	-12000/-900	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1910.89	1147.48	3907664.05
Contact 5	Abutment 0	0/-1125	-12000/-1125	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1978.39	1147.48	4165847.81
Contact 6	Abutment 0	0/-1350	-12000/-1350	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2045.89	1147.48	4424031.56
Contact 7	Abutment 0	0/-1575	-12000/-1575	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2113.39	1147.48	4682215.32
Contact 8	Abutment 0	0/-1800	-12000/-1800	12000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2180.89	1147.48	4940399.08
Contact 0	Span 1, Ring 1	-745/84	0/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	374.05	12.71	-133272.34
Contact 1	Span 1, Ring 1	-702/387	37/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	365.19	-2.00	-130278.50
Contact 2	Span 1, Ring 1	-641/688	89/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	361.14	13.62	-128906.49
Contact 3	Span 1, Ring 1	-563/984	156/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	348.92	-3.80	-124758.72
Contact 4	Span 1, Ring 1	-467/1275	238/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	351.21	25.94	-124067.69
Contact 5	Span 1, Ring 1	-355/1561	334/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	338.40	11.28	-115432.70
Contact 6	Span 1, Ring 1	-227/1839	444/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	324.51	-1.52	-110558.08
Contact 7	Span 1, Ring 1	-82/2109	568/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	309.90	-12.43	-108998.14
Contact 8	Span 1, Ring 1	77/2370	705/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	314.39	8.32	-112955.09
Contact 9	Span 1, Ring 1	253/2622	855/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	301.03	-0.18	-108356.13
Contact 10	Span 1, Ring 1	442/2863	1018/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	310.51	20.08	-110348.43
Contact 11	Span 1, Ring 1	645/3092	1192/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	299.17	13.18	-102512.87
Contact 12	Span 1, Ring 1	861/3310	1377/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	288.30	7.46	-96704.11
Contact 13	Span 1, Ring 1	1090/3514	1573/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	278.03	2.75	-92634.58
Contact 14	Span 1, Ring 1	1330/3704	1779/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	268.48	-1.10	-90051.44
Contact 15	Span 1, Ring 1	1581/3881	1994/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	259.69	-4.25	-88737.25
Contact 16	Span 1, Ring 1	1841/4042	2217/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	251.73	-6.83	-88509.08
Contact 17	Span 1, Ring 1	2111/4188	2448/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	253.11	-4.70	-91712.58
Contact 18	Span 1, Ring 1	2388/4318	2686/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	304.91	18.01	-109693.83

Contact 19	Span 1, Ring 1	2673/4431	2930/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	833.96	207.10	-271960.14
Contact 20	Span 1, Ring 1	2964/4528	3180/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1121.68	254.52	-308471.60
Contact 21	Span 1, Ring 1	3260/4608	3433/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1131.78	200.60	-243002.63
Contact 22	Span 1, Ring 1	3560/4670	3691/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1139.46	146.03	-193148.72
Contact 23	Span 1, Ring 1	3863/4714	3951/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1144.68	90.98	-159056.64
Contact 24	Span 1, Ring 1	4169/4741	4212/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1147.36	35.61	-140829.81
Contact 25	Span 1, Ring 1	4475/4750	4475/4000	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1147.48	-19.92	-138528.57
Contact 26	Span 1, Ring 1	4781/4741	4738/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1100.40	-72.81	-135231.16
Contact 27	Span 1, Ring 1	5087/4714	4999/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	962.57	-109.88	-111971.74
Contact 28	Span 1, Ring 1	5390/4670	5259/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	737.17	-115.61	-62715.82
Contact 29	Span 1, Ring 1	5690/4608	5517/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	429.52	-75.02	22470.59
Contact 30	Span 1, Ring 1	5986/4528	5770/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	381.84	-74.52	17735.61
Contact 31	Span 1, Ring 1	6277/4431	6020/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	336.30	-68.58	13304.98
Contact 32	Span 1, Ring 1	6562/4318	6264/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	295.04	-58.17	9897.53
Contact 33	Span 1, Ring 1	6839/4188	6502/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	259.71	-44.50	8086.33
Contact 34	Span 1, Ring 1	7109/4042	6733/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	231.38	-28.95	8260.02
Contact 35	Span 1, Ring 1	7369/3881	6956/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	210.54	-12.87	10601.48
Contact 36	Span 1, Ring 1	7620/3704	7171/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	197.16	2.51	15093.71
Contact 37	Span 1, Ring 1	7860/3514	7377/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	190.75	16.18	21543.21
Contact 38	Span 1, Ring 1	8089/3310	7573/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	190.48	27.42	29619.13
Contact 39	Span 1, Ring 1	8305/3092	7758/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	195.30	35.82	38899.48
Contact 40	Span 1, Ring 1	8508/2863	7932/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	204.07	41.30	48922.24
Contact 41	Span 1, Ring 1	8697/2622	8095/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	215.64	43.98	59229.42
Contact 42	Span 1, Ring 1	8873/2370	8245/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	228.97	44.24	69403.31
Contact 43	Span 1, Ring 1	9033/2109	8382/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	243.18	42.51	79090.35
Contact 44	Span 1, Ring 1	9177/1839	8506/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	257.56	39.30	88011.99
Contact 45	Span 1, Ring 1	9306/1561	8616/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	271.61	35.04	95963.63
Contact 46	Span 1, Ring 1	9418/1275	8712/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	284.97	30.11	102804.62
Contact 47	Span 1, Ring 1	9513/984	8794/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	298.50	21.09	107484.37
Contact 48	Span 1, Ring 1	9591/688	8861/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	309.30	17.00	111203.28
Contact 49	Span 1, Ring 1	9652/387	8913/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	318.75	14.63	114453.07
Contact 50	Span 1, Ring 1	9695/84	8950/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	327.27	12.43	117371.48
Contact 0	Pier 1	11450/0	8950/0	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	712.22	-13.26	68854.87
Contact 1	Pier 1	11450/-225	8950/-225	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	726.28	-13.26	65871.37
Contact 2	Pier 1	11450/-450	8950/-450	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	740.34	-13.26	62887.87
Contact 3	Pier 1	11450/-675	8950/-675	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	754.40	-13.26	59904.38
Contact 4	Pier 1	11450/-900	8950/-900	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	768.47	-13.26	56920.88
Contact 5	Pier 1	11450/-1125	8950/-1125	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	782.53	-13.26	53937.38
Contact 6	Pier 1	11450/-1350	8950/-1350	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	796.59	-13.26	50953.89
Contact 7	Pier 1	11450/-1575	8950/-1575	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	810.65	-13.26	47970.39
Contact 8	Pier 1	11450/-1800	8950/-1800	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	824.72	-13.26	44986.89
Contact 0	Span 2, Ring 1	10705/84	11450/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	269.68	-19.30	97494.97
Contact 1	Span 2, Ring 1	10748/387	11487/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	260.88	-18.13	93093.37
Contact 2	Span 2, Ring 1	10809/688	11539/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	251.35	-17.12	89316.44
Contact 3	Span 2, Ring 1	10887/984	11606/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	240.69	-17.84	86025.78
Contact 4	Span 2, Ring 1	10982/1275	11688/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	227.50	-23.52	82724.75
Contact 5	Span 2, Ring 1	11094/1561	11784/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	214.69	-25.15	78203.69

1													
Contact 6	Span 2, Ring 1	11223/1839	11894/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	201.41	-26.15	73499.34
Contact 7	Span 2, Ring 1	11367/2109	12018/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	188.00	-26.17	68733.82
Contact 8	Span 2, Ring 1	11527/2370	12155/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	174.98	-24.80	64088.33
Contact 9	Span 2, Ring 1	11703/2622	12305/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	163.05	-21.55	59813.08
Contact 10	Span 2, Ring 1	11892/2863	12468/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	153.06	-15.99	56228.24
Contact 11	Span 2, Ring 1	12095/3092	12642/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	146.08	-7.80	53713.09
Contact 12	Span 2, Ring 1	12311/3310	12827/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	143.22	3.17	52682.19
Contact 13	Span 2, Ring 1	12540/3514	13023/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	145.63	16.79	53549.29
Contact 14	Span 2, Ring 1	12780/3704	13229/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	154.33	32.64	56683.44
Contact 15	Span 2, Ring 1	13031/3881	13444/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	170.15	49.98	62358.21
Contact 16	Span 2, Ring 1	13291/4042	13667/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	193.54	67.80	70705.85
Contact 17	Span 2, Ring 1	13561/4188	13898/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	224.53	84.84	81678.67
Contact 18	Span 2, Ring 1	13838/4318	14136/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	262.59	99.75	95026.18
Contact 19	Span 2, Ring 1	14123/4431	14380/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	306.64	111.15	110289.92
Contact 20	Span 2, Ring 1	14414/4528	14630/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	355.00	117.79	126825.47
Contact 21	Span 2, Ring 1	14710/4608	14883/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	405.50	118.74	143841.99
Contact 22	Span 2, Ring 1	15010/4670	15141/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	715.94	159.51	71041.87
Contact 23	Span 2, Ring 1	15313/4714	15401/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	944.08	153.69	34206.11
Contact 24	Span 2, Ring 1	15619/4741	15662/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1084.58	116.29	23331.81
Contact 25	Span 2, Ring 1	15925/4750	15925/4000	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1134.22	62.82	32318.31
Contact 26	Span 2, Ring 1	16231/4741	16188/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1107.08	8.23	53318.20
Contact 27	Span 2, Ring 1	16537/4714	16449/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1106.84	-46.39	47731.26
Contact 28	Span 2, Ring 1	16840/4670	16709/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1081.80	-96.88	35344.53
Contact 29	Span 2, Ring 1	17140/4608	16967/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1076.73	-149.64	-143.70
Contact 30	Span 2, Ring 1	17436/4528	17220/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	955.60	-167.71	-3366.27
Contact 31	Span 2, Ring 1	17727/4431	17470/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	872.03	-184.89	-25800.80
Contact 32	Span 2, Ring 1	18012/4318	17714/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	781.59	-188.91	-48828.14
Contact 33	Span 2, Ring 1	18289/4188	17952/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	690.43	-180.83	-70860.39
Contact 34	Span 2, Ring 1	18559/4042	18183/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	603.67	-162.65	-90401.94
Contact 35	Span 2, Ring 1	18819/3881	18406/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	525.19	-136.85	-106176.36
Contact 36	Span 2, Ring 1	19070/3704	18621/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	457.56	-106.14	-117218.32
Contact 37	Span 2, Ring 1	19310/3514	18827/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	402.12	-73.12	-122920.63
Contact 38	Span 2, Ring 1	19539/3310	19023/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	359.13	-40.08	-123035.63
Contact 39	Span 2, Ring 1	19755/3092	19208/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	328.05	-8.88	-117637.55
Contact 40	Span 2, Ring 1	19958/2863	19382/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	324.77	-1.25	-116515.89
Contact 41	Span 2, Ring 1	20147/2622	19545/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	333.90	-7.05	-119636.68
Contact 42	Span 2, Ring 1	20323/2370	19695/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	311.82	34.50	-105654.72
Contact 43	Span 2, Ring 1	20483/2109	19832/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	326.88	24.04	-100605.27
Contact 44	Span 2, Ring 1	20627/1839	19956/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	341.53	11.81	-98821.62
Contact 45	Span 2, Ring 1	20756/1561	20066/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	355.43	-2.23	-100737.51
Contact 46	Span 2, Ring 1	20868/1275	20162/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	368.24	-18.08	-106783.00
Contact 47	Span 2, Ring 1	20963/984	20244/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	379.59	-35.68	-117371.73
Contact 48	Span 2, Ring 1	21041/688	20311/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	389.09	-54.91	-132886.97

	1												
Contact 49	Span 2, Ring 1	21102/387	20363/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	382.45	5.37	-136105.41
Contact 50	Span 2, Ring 1	21145/84	20400/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	391.89	-15.85	-139278.66
Contact 0	Pier 2	22900/0	20400/0	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	923.20	119.90	-10089.18
Contact 1	Pier 2	22900/-225	20400/-225	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	937.27	119.90	16888.83
Contact 2	Pier 2	22900/-450	20400/-450	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	951.33	119.90	43866.83
Contact 3	Pier 2	22900/-675	20400/-675	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	965.39	119.90	70844.84
Contact 4	Pier 2	22900/-900	20400/-900	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	979.45	119.90	97822.84
Contact 5	Pier 2	22900/-1125	20400/-1125	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	993.52	119.90	124800.85
Contact 6	Pier 2	22900/-1350	20400/-1350	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1007.58	119.90	151778.86
Contact 7	Pier 2	22900/-1575	20400/-1575	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1021.64	119.90	178756.86
Contact 8	Pier 2	22900/-1800	20400/-1800	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1035.70	119.90	205734.87
Contact 0	Span 3, Ring 1	22155/84	22900/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	440.92	130.99	-155623.10
Contact 1	Span 3, Ring 1	22198/387	22937/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	438.12	106.72	-120101.92
Contact 2	Span 3, Ring 1	22259/688	22989/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	451.22	163.56	-85462.05
Contact 3	Span 3, Ring 1	22337/984	23056/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	447.96	140.52	-39559.85
Contact 4	Span 3, Ring 1	22432/1275	23138/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	442.64	118.74	276.48
Contact 5	Span 3, Ring 1	22544/1561	23234/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	435.60	98.37	34328.74
Contact 6	Span 3, Ring 1	22673/1839	23344/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	427.20	79.47	62912.76
Contact 7	Span 3, Ring 1	22817/2109	23468/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	417.78	62.06	86364.68
Contact 8	Span 3, Ring 1	22977/2370	23605/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	407.65	46.11	105028.49
Contact 9	Span 3, Ring 1	23153/2622	23755/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	434.33	81.89	113152.10
Contact 10	Span 3, Ring 1	23342/2863	23918/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	429.48	70.04	136689.94
Contact 11	Span 3, Ring 1	23545/3092	24092/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	436.68	71.35	154220.82
Contact 12	Span 3, Ring 1	23761/3310	24277/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	471.32	96.01	165639.85
Contact 13	Span 3, Ring 1	23990/3514	24473/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	517.49	122.27	180670.82
Contact 14	Span 3, Ring 1	24230/3704	24679/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	575.73	148.31	199327.83
Contact 15	Span 3, Ring 1	24481/3881	24894/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	645.75	171.86	221308.79
Contact 16	Span 3, Ring 1	24741/4042	25117/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	726.20	190.34	245958.17
Contact 17	Span 3, Ring 1	25011/4188	25348/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	814.50	201.06	272268.63
Contact 18	Span 3, Ring 1	25288/4318	25586/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	906.77	201.55	298928.30
Contact 19	Span 3, Ring 1	25573/4431	25830/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	997.86	189.87	324413.06
Contact 20	Span 3, Ring 1	25864/4528	26080/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1081.62	164.94	347113.73
Contact 21	Span 3, Ring 1	26160/4608	26333/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1202.48	139.09	348397.39
Contact 22	Span 3, Ring 1	26460/4670	26591/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1206.81	78.54	379735.70
Contact 23	Span 3, Ring 1	26763/4714	26851/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1230.63	20.26	385763.65
Contact 24	Span 3, Ring 1	27069/4741	27112/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1229.16	-42.09	382793.48
Contact 25	Span 3, Ring 1	27375/4750	27375/4000	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1254.13	-104.34	351056.84
Contact 26	Span 3, Ring 1	27681/4741	27638/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1208.33	-165.76	326709.62
Contact 27	Span 3, Ring 1	27987/4714	27899/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1064.64	-211.03	322402.79
Contact 28	Span 3, Ring 1	28290/4670	28159/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	955.58	-246.29	293043.84
Contact 29	Span 3, Ring 1	28590/4608	28417/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	835.19	-266.76	259454.28
Contact 30	Span 3, Ring 1	28886/4528	28670/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	710.90	-272.28	223444.71
Contact 31	Span 3, Ring 1	29177/4431	28920/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	589.35	-264.01	186943.90
Contact 32	Span 3, Ring 1	29462/4318	29164/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	538.96	-271.36	124327.32
Contact 33	Span 3, Ring 1	29739/4188	29402/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	527.34	-292.16	43137.56
Contact 34	Span 3, Ring 1	30009/4042	29633/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	515.38	-312.11	-44065.60

Contact 35	Span 3, Ring 1	30269/3881	29856/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	503.17	-331.24	-137063.23
Contact 36	Span 3, Ring 1	30520/3704	30071/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	21.55	1.12	-8058.43
Contact 37	Span 3, Ring 1	30760/3514	30277/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	30.29	10.20	-8350.82
Contact 38	Span 3, Ring 1	30989/3310	30473/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	40.47	18.58	-6413.03
Contact 39	Span 3, Ring 1	31205/3092	30658/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	51.99	26.06	-2465.19
Contact 40	Span 3, Ring 1	31408/2863	30832/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	64.75	32.44	3226.25
Contact 41	Span 3, Ring 1	31597/2622	30995/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	78.58	37.52	10349.96
Contact 42	Span 3, Ring 1	31773/2370	31145/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	93.28	41.14	18552.94
Contact 43	Span 3, Ring 1	31933/2109	31282/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	108.60	43.12	27445.71
Contact 44	Span 3, Ring 1	32077/1839	31406/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	124.25	43.35	36609.46
Contact 45	Span 3, Ring 1	32206/1561	31516/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	139.93	41.74	45605.04
Contact 46	Span 3, Ring 1	32318/1275	31612/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	155.27	38.24	53983.73
Contact 47	Span 3, Ring 1	32413/984	31694/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	169.92	32.86	61299.65
Contact 48	Span 3, Ring 1	32491/688	31761/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	183.48	25.67	67123.47
Contact 49	Span 3, Ring 1	32552/387	31813/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	195.58	16.81	71057.07
Contact 50	Span 3, Ring 1	32595/84	31850/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	205.33	11.02	73638.06
Contact 0	Pier 3	34350/0	31850/0	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	501.50	-5.76	19600.29
Contact 1	Pier 3	34350/-225	31850/-225	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	515.57	-5.76	18303.64
Contact 2	Pier 3	34350/-450	31850/-450	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	529.63	-5.76	17006.99
Contact 3	Pier 3	34350/-675	31850/-675	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	543.69	-5.76	15710.33
Contact 4	Pier 3	34350/-900	31850/-900	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	557.75	-5.76	14413.68
Contact 5	Pier 3	34350/-1125	31850/-1125	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	571.82	-5.76	13117.02
Contact 6	Pier 3	34350/-1350	31850/-1350	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	585.88	-5.76	11820.37
Contact 7	Pier 3	34350/-1575	31850/-1575	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	599.94	-5.76	10523.71
Contact 8	Pier 3	34350/-1800	31850/-1800	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	614.00	-5.76	9227.06
Contact 0	Span 4, Ring 1	33605/84	34350/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	187.83	-14.85	68673.08
Contact 1	Span 4, Ring 1	33648/387	34387/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	177.92	-19.62	65137.47
Contact 2	Span 4, Ring 1	33709/688	34439/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	165.72	-27.46	60536.10
Contact 3	Span 4, Ring 1	33787/984	34506/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	152.14	-33.62	54330.41
Contact 4	Span 4, Ring 1	33882/1275	34588/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	137.55	-37.99	46915.31
Contact 5	Span 4, Ring 1	33994/1561	34684/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	122.34	-40.49	38714.47
Contact 6	Span 4, Ring 1	34123/1839	34794/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	106.89	-41.14	30165.39
Contact 7	Span 4, Ring 1	34267/2109	34918/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	91.55	-39.99	21705.47
Contact 8	Span 4, Ring 1	34427/2370	35055/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	76.62	-37.14	13759.36
Contact 9	Span 4, Ring 1	34603/2622	35205/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	62.40	-32.72	6728.01
Contact 10	Span 4, Ring 1	34792/2863	35368/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	49.13	-26.91	979.48
Contact 11	Span 4, Ring 1	34995/3092	35542/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	37.01	-19.90	-3158.26
Contact 12	Span 4, Ring 1	35211/3310	35727/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	26.20	-11.90	-5402.55
Contact 13	Span 4, Ring 1	35440/3514	35923/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	16.79	-3.13	-5519.18
Contact 14	Span 4, Ring 1	35680/3704	36129/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	8.87	6.21	-3323.67
Contact 15	Span 4, Ring 1	35931/3881	36344/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	491.34	338.68	-130382.15
Contact 16	Span 4, Ring 1	36191/4042	36567/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	504.44	319.50	-35436.49
Contact 17	Span 4, Ring 1	36461/4188	36798/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	517.28	299.33	53672.72
Contact 18	Span 4, Ring 1	36738/4318	37036/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	529.75	278.13	136681.22
Contact 19	Span 4, Ring 1	37023/4431	37280/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	580.96	270.21	200983.04
Contact 20	Span 4, Ring 1	37314/4528	37530/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	703.25	277.72	238989.33
Contact 21	Span 4, Ring 1	37610/4608	37783/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	828.20	271.27	276279.12

	1												
Contact 22	Span 4, Ring 1	37910/4670	38041/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	949.12	249.70	310879.95
Contact 23	Span 4, Ring 1	38213/4714	38301/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1058.59	213.17	340940.18
Contact 24	Span 4, Ring 1	38519/4741	38562/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1202.51	166.50	345601.43
Contact 25	Span 4, Ring 1	38825/4750	38825/4000	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1248.36	103.61	369931.06
Contact 26	Span 4, Ring 1	39131/4741	39088/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1252.72	38.16	390089.75
Contact 27	Span 4, Ring 1	39437/4714	39349/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1253.71	-27.34	391551.22
Contact 28	Span 4, Ring 1	39740/4670	39609/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1225.71	-88.10	384523.09
Contact 29	Span 4, Ring 1	40040/4608	39867/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1170.59	-139.61	370458.40
Contact 30	Span 4, Ring 1	40336/4528	40120/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1094.26	-178.76	350477.98
Contact 31	Span 4, Ring 1	40627/4431	40370/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1003.70	-204.01	326015.62
Contact 32	Span 4, Ring 1	40912/4318	40614/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	905.99	-215.31	298706.34
Contact 33	Span 4, Ring 1	41189/4188	40852/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	895.98	-258.39	230678.96
Contact 34	Span 4, Ring 1	41459/4042	41083/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	884.83	-300.82	150079.09
Contact 35	Span 4, Ring 1	41719/3881	41306/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	851.67	-328.84	66938.22
Contact 36	Span 4, Ring 1	41970/3704	41521/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	779.96	-324.65	-5473.99
Contact 37	Span 4, Ring 1	42210/3514	41727/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	687.16	-291.83	-64312.75
Contact 38	Span 4, Ring 1	42439/3310	41923/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	587.84	-236.22	-107100.89
Contact 39	Span 4, Ring 1	42655/3092	42108/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	492.62	-164.29	-131790.19
Contact 40	Span 4, Ring 1	42858/2863	42282/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	408.33	-82.10	-136842.68
Contact 41	Span 4, Ring 1	43047/2622	42445/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	338.67	5.29	-121266.38
Contact 42	Span 4, Ring 1	43223/2370	42595/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	285.04	94.00	-84585.48
Contact 43	Span 4, Ring 1	43383/2109	42732/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	268.02	145.16	-39984.82
Contact 44	Span 4, Ring 1	43527/1839	42856/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	289.07	135.78	-3028.67
Contact 45	Span 4, Ring 1	43656/1561	42966/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	309.60	124.29	30970.26
Contact 46	Span 4, Ring 1	43768/1275	43062/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	329.25	110.67	61492.73
Contact 47	Span 4, Ring 1	43863/984	43144/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	347.65	94.97	88029.78
Contact 48	Span 4, Ring 1	43941/688	43211/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	364.39	77.28	110096.74
Contact 49	Span 4, Ring 1	44002/387	43263/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	379.08	57.76	127248.30
Contact 50	Span 4, Ring 1	44045/84	43300/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	391.34	36.62	139094.07
Contact 0	Pier 4	45800/0	43300/0	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1718.49	794.62	-149060.13
Contact 1	Pier 4	45800/-225	43300/-225	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1732.55	794.62	29728.36
Contact 2	Pier 4	45800/-450	43300/-450	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1746.61	794.62	208516.85
Contact 3	Pier 4	45800/-675	43300/-675	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1760.67	794.62	387305.34
Contact 4	Pier 4	45800/-900	43300/-900	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1774.74	794.62	566093.83
Contact 5	Pier 4	45800/-1125	43300/-1125	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1788.80	794.62	744882.32
Contact 6	Pier 4	45800/-1350	43300/-1350	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1802.86	794.62	923670.81
Contact 7	Pier 4	45800/-1575	43300/-1575	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1816.92	794.62	1102459.30
Contact 8	Pier 4	45800/-1800	43300/-1800	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1830.99	794.62	1281247.79
Contact 0	Span 5, Ring 1	45055/84	45800/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1300.95	660.72	-403232.77
Contact 1	Span 5, Ring 1	45098/387	45837/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1327.80	585.35	-224236.63
Contact 2	Span 5, Ring 1	45159/688	45889/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1348.99	509.40	-66297.46
Contact 3	Span 5, Ring 1	45237/984	45956/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1364.76	433.30	70380.63
Contact 4	Span 5, Ring 1	45332/1275	46038/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1375.41	357.40	185704.75
Contact 5	Span 5, Ring 1	45444/1561	46134/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1381.22	281.99	279679.51
Contact 6	Span 5, Ring 1	45573/1839	46244/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1382.51	207.34	352393.80
Contact 7	Span 5, Ring 1	45717/2109	46368/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1379.54	133.65	404008.29

Contact 8	Span 5, Ring 1	45877/2370	46505/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1410.83	119.57	429539.96
Contact 9	Span 5, Ring 1	46053/2622	46655/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1474.90	142.34	444321.38
Contact 10	Span 5, Ring 1	46242/2863	46818/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1551.12	163.31	461370.50
Contact 11	Span 5, Ring 1	46445/3092	46992/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1638.06	178.85	480110.22
Contact 12	Span 5, Ring 1	46661/3310	47177/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1732.02	184.11	499513.13
Contact 13	Span 5, Ring 1	46890/3514	47373/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1826.19	173.29	518071.90
Contact 14	Span 5, Ring 1	47130/3704	47579/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1909.95	140.13	533834.89
Contact 15	Span 5, Ring 1	47381/3881	47794/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1968.78	79.03	544486.99
Contact 16	Span 5, Ring 1	47641/4042	48017/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1985.26	-13.37	547410.32
Contact 17	Span 5, Ring 1	47911/4188	48248/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1976.02	-119.04	529626.03
Contact 18	Span 5, Ring 1	48188/4318	48486/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1961.98	-224.00	481456.07
Contact 19	Span 5, Ring 1	48473/4431	48730/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2032.07	-295.60	375169.55
Contact 20	Span 5, Ring 1	48764/4528	48980/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2091.57	-379.38	249111.78
Contact 21	Span 5, Ring 1	49060/4608	49233/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2133.50	-475.10	102179.43
Contact 22	Span 5, Ring 1	49360/4670	49491/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2151.00	-580.99	-66474.28
Contact 23	Span 5, Ring 1	49663/4714	49751/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2138.31	-693.80	-257330.22
Contact 24	Span 5, Ring 1	49969/4741	50012/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2090.26	-749.78	-468790.93
Contact 25	Span 5, Ring 1	50275/4750	50275/4000	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2042.98	204.26	-557428.83
Contact 26	Span 5, Ring 1	50581/4741	50538/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2092.74	792.22	-386814.34
Contact 27	Span 5, Ring 1	50887/4714	50799/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2136.38	677.29	-177707.16
Contact 28	Span 5, Ring 1	51190/4670	51059/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2151.15	564.13	7267.83
Contact 29	Span 5, Ring 1	51490/4608	51317/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2135.29	457.69	170062.45
Contact 30	Span 5, Ring 1	51786/4528	51570/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2094.45	361.36	311168.10
Contact 31	Span 5, Ring 1	52077/4431	51820/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2035.41	277.00	431443.10
Contact 32	Span 5, Ring 1	52362/4318	52064/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2009.57	185.75	512623.38
Contact 33	Span 5, Ring 1	52639/4188	52302/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2021.88	77.94	549281.83
Contact 34	Span 5, Ring 1	52909/4042	52533/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2028.72	-30.20	554985.33
Contact 35	Span 5, Ring 1	53169/3881	52756/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1990.54	-112.25	548339.36
Contact 36	Span 5, Ring 1	53420/3704	52971/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1915.70	-163.85	534892.81
Contact 37	Span 5, Ring 1	53660/3514	53177/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1821.10	-189.10	517091.90
Contact 38	Span 5, Ring 1	53889/3310	53373/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1720.20	-193.82	497120.23
Contact 39	Span 5, Ring 1	54105/3092	53558/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1622.48	-184.15	476808.78
Contact 40	Span 5, Ring 1	54308/2863	53732/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1533.80	-165.64	457547.05
Contact 41	Span 5, Ring 1	54497/2622	53895/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1457.09	-142.81	440252.54
Contact 42	Span 5, Ring 1	54673/2370	54045/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1393.24	-118.99	425407.95
Contact 43	Span 5, Ring 1	54833/2109	54182/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1362.80	-133.07	399736.00
Contact 44	Span 5, Ring 1	54977/1839	54306/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1365.97	-205.72	348381.03
Contact 45	Span 5, Ring 1	55106/1561	54416/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1364.95	-279.35	276223.85
Contact 46	Span 5, Ring 1	55218/1275	54512/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1359.44	-353.76	183096.60
Contact 47	Span 5, Ring 1	55313/984	54594/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1349.15	-428.71	68902.57
Contact 48	Span 5, Ring 1	55391/688	54661/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1333.76	-503.89	-66371.19
Contact 49	Span 5, Ring 1	55452/387	54713/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1313.01	-578.94	-222640.40
Contact 50	Span 5, Ring 1	55495/84	54750/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1286.61	-653.45	-399709.78

Contact 0	Pier 5	57250/0	54750/0	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1725.39	-783.61	118290.99
Contact 1	Pier 5	57250/-225	54750/-225	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1739.45	-783.61	-58021.06
Contact 2	Pier 5	57250/-450	54750/-450	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1753.51	-783.61	-234333.10
Contact 3	Pier 5	57250/-675	54750/-675	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1767.57	-783.61	-410645.15
Contact 4	Pier 5	57250/-900	54750/-900	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1781.64	-783.61	-586957.19
Contact 5	Pier 5	57250/-1125	54750/-1125	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1795.70	-783.61	-763269.24
Contact 6	Pier 5	57250/-1350	54750/-1350	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1809.76	-783.61	-939581.28
Contact 7	Pier 5	57250/-1575	54750/-1575	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1823.82	-783.61	-1115893.33
Contact 8	Pier 5	57250/-1800	54750/-1800	2500	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1837.89	-783.61	-1292205.37
Contact 0	Span 6, Ring 1	56505/84	57250/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	410.37	-36.57	145467.88
Contact 1	Span 6, Ring 1	56548/387	57287/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	398.02	-58.80	133506.21
Contact 2	Span 6, Ring 1	56609/688	57339/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	383.14	-79.41	115938.50
Contact 3	Span 6, Ring 1	56687/984	57406/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	366.12	-98.15	93161.20
Contact 4	Span 6, Ring 1	56782/1275	57488/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	347.37	-114.87	65628.07
Contact 5	Span 6, Ring 1	56894/1561	57584/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	327.27	-129.46	33834.51
Contact 6	Span 6, Ring 1	57023/1839	57694/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	306.21	-141.88	-1697.53
Contact 7	Span 6, Ring 1	57167/2109	57818/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	284.57	-152.13	-40433.62
Contact 8	Span 6, Ring 1	57327/2370	57955/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	300.21	-102.85	-86947.89
Contact 9	Span 6, Ring 1	57503/2622	58105/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	352.98	-14.90	-126138.95
Contact 10	Span 6, Ring 1	57692/2863	58268/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	422.37	72.59	-144545.56
Contact 11	Span 6, Ring 1	57895/3092	58442/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	507.53	156.07	-142528.92
Contact 12	Span 6, Ring 1	58111/3310	58627/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	605.50	230.81	-120947.82
Contact 13	Span 6, Ring 1	58340/3514	58823/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	710.46	291.04	-81196.06
Contact 14	Span 6, Ring 1	58580/3704	59029/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	812.90	330.39	-25171.98
Contact 15	Span 6, Ring 1	58831/3881	59244/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	899.32	342.82	44810.72
Contact 16	Span 6, Ring 1	59091/4042	59467/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	952.81	324.02	126113.36
Contact 17	Span 6, Ring 1	59361/4188	59698/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	964.93	278.13	212932.93
Contact 18	Span 6, Ring 1	59638/4318	59936/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	975.19	231.35	286348.96
Contact 19	Span 6, Ring 1	59923/4431	60180/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1027.12	199.71	332419.90
Contact 20	Span 6, Ring 1	60214/4528	60430/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1115.67	173.34	356139.68
Contact 21	Span 6, Ring 1	60510/4608	60683/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1189.36	133.19	375282.19
Contact 22	Span 6, Ring 1	60810/4670	60941/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1241.29	80.91	388443.61
Contact 23	Span 6, Ring 1	61113/4714	61201/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1265.68	19.71	394533.60
Contact 24	Span 6, Ring 1	61419/4741	61462/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1264.18	-45.63	390949.90
Contact 25	Span 6, Ring 1	61725/4750	61725/4000	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1259.37	-110.85	368706.63
Contact 26	Span 6, Ring 1	62031/4741	61988/3992	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1206.62	-173.09	344812.92
Contact 27	Span 6, Ring 1	62337/4714	62249/3969	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1062.41	-219.10	338340.52
Contact 28	Span 6, Ring 1	62640/4670	62509/3931	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	944.98	-253.64	309718.98
Contact 29	Span 6, Ring 1	62940/4608	62767/3878	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	822.62	-273.88	274647.03
Contact 30	Span 6, Ring 1	63236/4528	63020/3810	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	696.87	-279.05	237046.30
Contact 31	Span 6, Ring 1	63527/4431	63270/3727	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	655.77	-300.13	164169.00
Contact 32	Span 6, Ring 1	63812/4318	63514/3630	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	641.25	-328.40	73990.72
Contact 33	Span 6, Ring 1	64089/4188	63752/3518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	625.90	-355.53	-24261.13
Contact 34	Span 6, Ring 1	64359/4042	63983/3393	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	378.89	-247.69	-24213.01
Contact 35	Span 6, Ring 1	64619/3881	64206/3255	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	370.44	-259.31	-97719.98
Contact 36	Span 6, Ring 1	64870/3704	64421/3104	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	9.10	-6.37	-3406.78
Contact 37	Span 6, Ring 1	65110/3514	64627/2940	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	17.22	3.22	-5689.14

Contact 38	Span 6, Ring 1	65339/3310	64823/2765	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	26.83	12.18	-5592.66
Contact 39	Span 6, Ring 1	65555/3092	65008/2579	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	37.84	20.31	-3316.86
Contact 40	Span 6, Ring 1	65758/2863	65182/2382	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	50.15	27.40	890.35
Contact 41	Span 6, Ring 1	65947/2622	65345/2176	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	63.58	33.25	6733.98
Contact 42	Span 6, Ring 1	66123/2370	65495/1960	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	77.95	37.68	13875.20
Contact 43	Span 6, Ring 1	66283/2109	65632/1736	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	93.01	40.52	21936.51
Contact 44	Span 6, Ring 1	66427/1839	65756/1504	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	108.47	41.63	30508.90
Contact 45	Span 6, Ring 1	66556/1561	65866/1266	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	124.01	40.91	39160.95
Contact 46	Span 6, Ring 1	66668/1275	65962/1021	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	139.29	38.32	47449.74
Contact 47	Span 6, Ring 1	66763/984	66044/772	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	153.94	33.87	54933.32
Contact 48	Span 6, Ring 1	66841/688	66111/518	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	167.57	27.61	61184.55
Contact 49	Span 6, Ring 1	66902/387	66163/260	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	179.79	19.66	65805.92
Contact 50	Span 6, Ring 1	66945/84	66200/0	750.00	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	189.71	14.83	69342.93
Contact 0	Abutment 6	82200/0	66200/0	16000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1799.10	-1259.37	-4361886.03
Contact 1	Abutment 6	82200/-333	66200/-333	16000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	1932.43	-1259.37	-4781675.74
Contact 2	Abutment 6	82200/-666	66200/-666	16000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2065.77	-1259.37	-5201465.45
Contact 3	Abutment 6	82200/-1000	66200/-1000	16000	0	0	10	0.70	S/H/C/-	No	2199.10	-1259.37	-5621255.16

**Key:**

CS = Crushing Strength, FC = Friction Coefficient, S = Sliding enabled, H = Hinging enabled, C = Crushing enabled, R = Reinforcement present