



Maria Vaz Pinto Guimarães Lobato

Licenciada em Ciências de Engenharia Mecânica

Análise de condição da superfície de pneus

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador: Doutor Tiago Alexandre Narciso da Silva, Professor Auxiliar da
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri

Presidente: Doutor Bruno Alexandre Rodrigues Simões Soares, Professor Auxiliar
Convidado da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova
de Lisboa

Vogais: Doutora Maria Amélia Ramos Loja, Professora Adjunta do Instituto
Superior de Engenharia de Lisboa do Instituto Politécnico de Lisboa
Doutor Tiago Alexandre Narciso da Silva, Professor Auxiliar da
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro 2019

Análise de condição de superfície de pneus

Copyright © Maria Lobato, 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 objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

À minha Avó Maria Teresa

Resumo

No presente documento tem-se um levantamento de várias referências bibliográficas, assim como técnicas ainda não publicadas mas identificadas na Internet para uma análise superficial de pneus de veículos rodoviários. Foi feita ainda uma descrição de várias técnicas que possibilitam a reconstrução tridimensional de um pneu numa nuvem de pontos e malha. Foram ainda identificadas as práticas de manutenção diretamente dirigidas ao pneu. Conjuntamente com isto, foi feito um estudo de como adaptar a técnica de fotogrametria, aliada a um processamento dos dados em MatLab, ao estudo da condição de superficial de um pneu, originando uma solução rápida simples e de baixo investimento, conseguindo avaliar a superfície do pneu.

Keywords: fotogrametria; análise de pneus; condição de superfície;

Abstract

The present document presents a survey of several bibliographic references, as well as techniques not yet published but identified on the Internet for the superficial analysis of road vehicle tyres. A description of several techniques that enable the three-dimensional reconstruction of an object in a pointcloud and mesh is also described. It was also identified the typical maintenance practices directly applied to the tyre. Along with this, a study was made on how to adapt the photogrammetry technique, coupled with the processing of data using MatLab, to the analyses of the surface condition of a tyre, resulting in a simple quick solution and with low investment, performing a analysis of the tyre's surface.

Palavras-chave: Photogrammetry; tyre analysis; Surface condition;

Agradecimentos

Agradeço a oportunidade que os pais me proporcionaram, possibilitando a minha boa educação e formação como Engenheira Mecânica. Além dos meus pais, irmão e irmãs, o exemplo que os meus avós conseguiram passar aos seus filhos e netos, que deu frutos numa família unida e em que cada um á sua maneira influenciou o meu sucesso. Com isto, quero dar um agradecimento especial a minha tia Nina, que, sem ela, eu não teria mudado com tanta certeza para este curso.

Agradeço ainda ao meu tio Duarte e tia Raquel Vaz Pinto pelo o apoio e conselhos e ajudas sempre presentes no dia a dia.

Deixo um agradecimento aos meus amigos que cada um a sua maneira motiva e apoia, mencionando especialmente a Vanda.

Agradeço ainda ao mestre Vítor Marinho pelos seus treinos de Jiu-jitsu que ajudam a fortalecer a mente e espírito, sem esquecer a sua ajuda a arranjar componentes que integraram neste trabalho.

Quero deixar um agradecimento aos membros da faculdade, em especial ao DEMI-FCT, que sempre se mostraram disponíveis para falar e ajudar os alunos.

Deixo aqui um agradecimento especial ao Professor Alberto Martinho e Professor Bruno Soares pela sua ajuda neste trabalho e ao longo do curso.

Um obrigado especial ao meu orientador, Professor Tiago Silva, por ser um excelente professor, interessado no sucesso dos alunos e por ter sempre disponibilidade para esclarecer dúvidas. Agradeço ainda a simpatia e motivação e apoio ao longo do curso e deste trabalho.

Índice

Resumo	i
Abstract	iii
Agradecimentos	v
Índice	vii
Lista de figuras	ix
List of tables	xi
Acrónimos e Abreviações	xiii
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Estrutura da dissertação	2
2 Revisão Bibliográfica	5
2.1 Definição de um pneu	5
2.1.1 Tipos de construção	6
2.2 Manutenção e defeitos típicos	7
2.2.1 Manutenção	7
2.2.2 Defeitos típicos	8
2.3 Técnicas e END aplicados a pneus	10
2.4 Técnicas e aquisição de dados	11
2.4.1 Scanners 3D	12
2.4.1.1 Vantagens e Desvantagens	14
2.4.2 Fotogrametria	14
2.4.2.1 Vantagens e Desvantagens	16
2.5 Processamento de dados	16
2.6 Avaliação e classificação do piso de um pneu através de fotogrametria	18
3 Procedimento de aquisição e processamento	19

3.1	Aquisição de dados	19
3.2	Processamento dos dados	21
3.2.1	Avaliação e classificação dos dados	23
3.2.2	Fluxograma	24
3.3	Detalhes e precauções a ter	25
3.4	Equipamentos auxiliares	28
4	Resultados e Discussão	31
4.1	Estratégia	31
4.2	Simulação de um pneu	32
4.2.1	NP e malhas: implicações no código	33
4.2.2	Representação dos dados classificados - pneu simulado	33
4.2.3	Representação dos dados classificados - pneu ovalizado	34
4.2.4	Simulação de defeito: corte de material	35
4.3	Obtenção da NP através de fotogrametria	39
4.3.1	<i>Softwares</i>	42
4.3.2	Melhoramento da técnica	42
4.4	Obtenção da NP através de <i>scanner</i> de luz estruturada	43
4.5	Considerações finais	47
5	Conclusões	53
	Bibliografia	55

Lista de figuras

2.1	Características principais do pneu	6
2.2	Tipo de construção: Diagonal ou radial	7
2.3	Tipos de desgaste: lateral, zona lisa, central	9
2.4	Saliência no pneu	9
2.5	Níveis de desgaste de um pneu	10
2.6	Exemplos de distorções provocadas pela lente de uma máquina fotográfica	12
2.7	3D Scanner: Diagrama do método de triangulação	13
2.8	Scan 3D: Padrão de luz estruturada	13
2.9	Esquemática de fotogrametria aérea	15
2.10	Diagrama ilustrativo da técnica de fotogrametria	16
2.11	Exemplos de distorções provocadas pela lente de uma máquina fotográfica	17
3.1	Diagrama de aquisição de dados	20
3.2	Marcos no pneu por meio de uma caneta de giz	21
3.3	Diagrama do alinhamento do pneu	22
3.4	Transformação de coordenadas: CC para CP	22
3.5	Variação do ponto de contacto de um pneu de motociclo	23
3.6	Fluxograma de aquisição de dados	24
3.7	Fluxograma de processamento de dados	25
3.8	Centrar um pneu: centro verdadeiro	26
3.9	Centrar um pneu: desvio do centro verdadeiro	26
3.10	Previsão de um falso positivo	27
3.11	Previsão do resultado final	28
3.12	Ilustração da base rotativa criada	29
3.13	Ilustração da base rotativa: vista de topo	29
4.1	Pneu simulado	32
4.2	Representação final do pneu simulado em CP: Representação através de pontos	34
4.3	Representação final do pneu simulado em CP: Representação através de malha	34
4.4	Representação final do pneu simulado em CC: Representação através de pontos	35
4.5	Representação final do pneu simulado em CC: Representação através de malha	35
4.6	Representação final do pneu simulado com geometria mais complexa em CP: Representação através de pontos	36

4.7	Representação final do pneu simulado com geometria mais complexa em CP: Representação através de malha	36
4.8	Representação final do pneu simulado com geometria mais complexa em CC: Representação através de pontos	37
4.9	Representação final do pneu simulado com geometria mais complexa em CC: Representação através de malha	37
4.10	Representação final do pneu ovalizado simulado em CC: Representação através de pontos	38
4.11	Representação final do pneu ovalizado simulado em CP: Representação através de pontos	38
4.12	Representação final do pneu simulado com defeito em CP: Representação através de pontos	39
4.13	Representação final do pneu simulado com defeito em CP: Representação através de malha	39
4.14	Representação final do pneu simulado com defeito em CC: Representação através de pontos	40
4.15	Representação final do pneu simulado com defeito em CC: Representação através de malha	40
4.16	NP e malha produzida por fotogrametria (37 fotografias)	41
4.17	NP e malha produzida por fotogrametria (44 fotografias)	41
4.18	NP e malha produzida por fotogrametria (44 fotografias): pormenor	41
4.19	Resultado final com Fotogrametria: Pontos em CC	43
4.20	Resultado final com Fotogrametria: Malha em CC	43
4.21	Resultado final com Fotogrametria: Pontos em CP	44
4.22	Resultado final com Fotogrametria: Malha em CP	44
4.23	EinScan-SE	45
4.24	Propriedades do EinScan-SE	46
4.25	NP produzida por EinScan-SE	47
4.26	NP produzida por EinScan-SE: pormenor	47
4.27	Resultado final com eixo desalinhado com EinScan-SE: Pontos em CC	48
4.28	Resultado final com eixo desalinhado com EinScan-SE: Malha em CC	48
4.29	Resultado final com EinScan-SE: Pontos em CC	49
4.30	Resultado final com EinScan-SE: Malha em CC	49
4.31	Resultado final com EinScan-SE: Pontos em CP	50
4.32	Resultado final com EinScan-SE: Malha em CP	50

List of tables

3.1	Classes de classificação	23
4.1	Resumo de resultados	51

Acrónimos e Abreviações

CC - Coordenadas cartesianas
CP - Coordenadas Polares
END - Ensaios não destrutivos
NP - Nuvem de pontos
Unid - Unidades
3D - Tridimensional

1

Introdução

1.1 Motivação

Nos dias de hoje as estradas estão repletas de veículos, sejam eles de uso pessoal ou profissional. O esforço para assegurar a devida segurança do veículo começa na sua conceção, e prolonga-se até a implementação de a uma correta manutenção quando em uso.

Mais específico do veículo, tem-se a roda que é o elemento responsável pelo contacto constante e seguro com o solo. Os fabricantes destes são obrigados a respeitar regulamentação e normas de segurança, transversais a todos os fabricantes, sendo estas habitualmente impostas pelos diversos países. Sendo Portugal um país pertencente à união Europeia, as normas e padrões de qualidade são iguais e abrangem toda a Europa.

Para um pneu em uso, a profundidade mínima legal e que é considerada segura é de 1,6 mm, para membros que assinaram o acordo ([JO \[1989\]](#)). No entanto, várias entidades, desde fabricantes a agentes de manutenção, aconselham a não possuir menos de 3 a 4 mm de profundidade de rasto. Quando o rasto se torna demasiado superficial, surge uma situação de perigo iminente, principalmente em tempo chuvoso. Se a água, que normalmente encontra um caminho de drenagem pelo rasto, se este não existir, a possibilidade de ocorrer uma situação de aquaplanagem é maior. Porém, não é apenas este defeito inevitável que causa ou potencia situações de perigo ou mesmo acidentes. Vários defeitos podem surgir no pneu, desde fissuras, estar ressequido, rasgos, até mesmo haver um corte profundo de material, entre outros.

Os riscos que advêm de um pneu defeituoso podem ser vários, como por exemplo, uma direção desalinhada, uma maior possibilidade de derrapagem ou mesmo de aquaplanagem. De forma a combater estes riscos, a prática de manutenção mais usual presente dos dias de

hoje é uma inspeção visual que decorre em zonas aleatórias do pneu, e não uma inspeção que percorra toda a superfície, o que traz incerteza e/ou potencia uma análise enviesada ou com erro.

A motivação para este trabalho de mestrado prende-se com a necessidade de colmatar as lacunas neste processo, tentando analisar por inteiro o rasto do pneu e descobrir assim os defeitos que este possa conter. Será ainda estabelecido um valor mínimo para a profundidade do rasto do pneu e este será comparado automaticamente com os valores obtidos pela digitalização da superfície do pneu. Pretende-se ainda que esta análise seja feita de um modo rápido, simples e com um orçamento baixo.

1.2 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de uma solução que, com a leitura da superfície de um pneu e com recurso a um *software*, consiga fazer uma avaliação e classificação de acordo com o respetivo estado. Pretende-se que o resultado seja uma representação do pneu, apresentado-se um mapa de cores que fazem referencia a respetiva classificação, assegurando uma leitura rápida e fácil do estado global da superfície do pneu.

Este trabalho passará primeiramente por obter uma leitura precisa da superfície do pneu através de 2 métodos: fotogrametria e 3D scanning através de luz estruturada. Como os dados obtidos, será feito um processamento dos mesmos e com este obtém se a classificação pretendida.

1.3 Estrutura da dissertação

No capítulo 1 é feita uma introdução do tema e a motivação que o fundamenta, assim como uma breve explicação da estrutura do documento.

No capítulo 2, são apresentados os conceitos que fundamentam o tema e as abordagens seguidas na execução do trabalho. É também feita uma breve descrição sobre o pneu, a sua estrutura e práticas de manutenção. Adicionalmente, são referidas técnicas de reprodução tridimensional de um objeto, aqui utilizadas com vista à digitalização da superfície

dos pneus em estudo. São ainda apresentadas algumas soluções que estão no mercado e tecnologias que poderiam ser usadas como solução.

No capítulo 3 é descrito o procedimento usado na elaboração deste trabalho, apresentando os passos, limitações e condições do mesmo.

Com o intuito de validar o procedimento elaborado, no capítulo 4, são expostos com exemplos as linhas de raciocínio e resultados obtidos pelo método explicado e são discutidos os resultados apresentados.

No capítulo 5 são elaboradas conclusões sobre o presente trabalho e sugestões sobre o que poderá vir a ser explorado no futuro a continuação deste trabalho.

2

Revisão Bibliográfica

2.1 Definição de um pneu

O pneu é um elemento toroidal, feito de borracha e colocado em volta de uma jante de uma roda. Os modelos mais comuns de pneus são preenchidos com ar ficando pressurizados. A superfície exterior, que faz o contacto com o solo é denominada por rastro¹ e é projetada de maneira a garantir o contacto permanente com o solo nas mais variadas condições ambientais. Por exemplo, o padrão do rastro promove a drenagem de água quando se passa por um lençol de água, mantendo o veículo em segurança. De forma a classificar os pneus, estes têm inscrito na sua superfície os parâmetros mais importantes que os definem, como largura, altura do parede lateral, tipo de construção, diâmetro da jante, índice de carga e velocidade, como pode ser observado na figura 2.1. Com estes dados é possível calcular o diâmetro do pneu utilizando as equações (2.1), lembrando que 1 polegada equivale a 25,4 mm, dado que o tamanho da jante de uma roda é descrito em polegadas.

$$\text{Altura da parede lateral} = \text{Largura do pneu} \times \text{Ratio (ver figura 2.1)} \quad (2.1)$$

$$\text{Diâmetro total do pneu} = \text{Jante} + 2 \times \text{Altura da parede lateral}$$

Por exemplo, de forma a calcular o diâmetro total do pneu da figura 2.1 tem-se:

$$\text{Altura da parede lateral} = 185 \times 0.55 = 101.75\text{mm} \quad (2.2)$$

$$\text{Diâmetro total} = 15 \times 2.54 + 2 \times 101.75 = 241.60\text{mm}$$

¹No decorrer deste documento, serão feitas referências ao rastro do pneu, que se refere ao padrão por ele apresentado. Quando se falar de profundidade do rasto, esta refere-se à profundidade dos rasgos propositados que fazem parte do rasto. Outra maneira de referenciar o rastro é pela palavra piso, que também se refere à superfície exterior do pneu.



Figura 2.1: Características principais do pneu(<https://www.zag.com.au/tyreprogra> @ 17/07/2019)

2.1.1 Tipos de construção

A estrutura interior de um pneu está dependente do método utilizado na sua construção. Segundo [Michelin](#) e [Heuver](#), o primeiro método de construção foi o diagonal ou enviesado. Este consiste em colocar camadas com orientações não ortogonais entre si, conferindo a toda a estrutura propriedades mecânicas similares. Este tipo de construção é mais indicado para suportar com cargas elevadas, devido à estabilidade que a estrutura oferece.

O modelo radial apareceu após este último e consiste na colocação de camadas perpendiculares entre si. Este modelo é mais indicado para manter um bom contacto com o solo com velocidades mais elevadas. Uma ilustração dos tipos de construção pode ser observada na figura 2.2.



Figura 2.2: Tipo de construção: Diagonal ou radial (<https://www.ntstiresupply.com/ptk-shared/bias-vs-radial-tractor-tires-what-is-the-difference> @ 17/07/2019)

2.2 Manutenção e defeitos típicos

2.2.1 Manutenção

Nos veículos de uso pessoal, as práticas de manutenção resumem-se à verificação dos níveis de óleo, da pressão correta dos pneus, assim como a uma inspeção visual a estes.

No entanto, no setor comercial a manutenção é tomada com outra seriedade. Dado que a imobilização não programada dos veículos pode ser dispendiosa, são criados programas de manutenção e estes são estudados e monitorizados de forma a criar uma frota eficiente e sem imprevistos. Estes programas são divididos consoante os vários sistemas e partes do veículo, como sugerido por MPC. Um destes sistemas é a roda. Como é uma parte fundamental de qualquer veículo, a roda e pneu tem de ser submetidos a vários controlos, como sugerido por STTC, tais como:

- Verificação da pressão com pressostatos calibrados;
- Inspeção da superfície do pneu para qualquer tipo de defeito como abrasão ou desgaste irregular;
- Verificação e correção do binário de aperto das porcas da roda;
- Profundidade do rastro.

De forma a obter um claro e bom entendimento da estado global, várias entidades no setor de manutenção aconselham que esta monitorização seja feita através de um *software* de forma a haver um acompanhamento do estado de conservação mais eficaz.

2.2.2 Defeitos típicos

Uma vez que o pneu é o ponto de ligação entre veículo e estrada, o seu desgaste é inevitável, contudo este pode ser controlado de forma a garantir a segurança. Quando se realiza uma inspeção a um pneu, deve-se procurar padrões irregulares de desgaste, assim como a identificação de outros tipos de defeito.

Segundo a [Continental \[2012\]](#), existem vários fatores que podem promover tanto defeitos localizados como padrões irregulares:

Desalinhamento do chassi

O desalinhamento do chassi pode redistribuir as cargas de uma forma desequilibrada, intensificando os esforços em zonas específicas, causando um desgaste prematuro. Algumas maneiras de identificar este tipo de desalinhamento são: o veículo em andamento reto desviar-se para a direita/esquerda e/ou um padrão irregular de desgaste nos pneus.

Pressão inadequada

Conduzir com uma pressão inadequada pode ser perigoso e tipicamente produz um desgaste prematuro dos pneus. Na situação dos pneus estarem com uma pressão menor à devida, a direção do veículo torna-se mais dura, causando também uma maior resistência e por sua vez desgaste nos pneus, reduzindo a autonomia do veículo. Outro perigo de conduzir nesta condição, derivado a um maior esforço na região das paredes laterais do pneu, pode ocorrer uma separação entre a jante e este. A insuflação insuficiente do pneu é um dos maiores agentes que provoca uma falha neste elemento.

Conduzir com uma pressão mais elevada à indicada, produz um contacto menor entre a roda e o solo, promovendo a uma menor aderência, e devido à diminuição da área de contacto, um desgaste prematuro aparecerá na parte central do rastro.

Desgaste lateral (Shoulder wear)

De acordo com [Continental \[2012\]](#), este tipo de defeito é usualmente devido a um desalinhamento da direção (figura 2.3).

Desgaste central (Center wear)

Normalmente presente em veículos que produzem altos níveis de binário que produzem derrapagem do pneu (figura 2.3).

Zonas lisas (Flat spot wear)

Quando ocorrem travagens bruscas que provocam uma derrapagem contínua na mesma área, origina um desgaste localizado (figura 2.3).



Figura 2.3: Tipos de desgaste: lateral, zona lisa, central (<https://brownsalignment.com/tires/tire-wear/> @ 20/09/2019)

Saliências ou rasgos

Este tipo de defeitos tem origem no contacto entre o pneu e um objeto ou com uma quina viva, como por exemplo uma quina metálica que cause um rasgo no pneu, ou o impacto ou subir um passeio sem as devidas precauções que, devido ao impacto, provoque uma saliência no pneu. Ver figura 2.4.



Figura 2.4: Saliência no pneu (<http://completecarro.info/como-evitar-bolhas-no-pneu/> @ 20/09/2019)

Piso do pneu com baixa profundidade

Quando o piso do pneu se torna excessivamente baixo, o nível de perigo aumenta, principalmente em tempo chuvoso, dado que não haverá uma garantia de drenagem da água aumentando assim o risco de aquaplanagem (figura 2.5).



Figura 2.5: Níveis de desgaste de um pneu (<http://revistaautoesporte.globo.com/Revista/Autoesporte/0,,EMI119376-10142-2,00-AQUAPLANAGEM+SURFANDO+COM+O+CARRO.html> @ 20/09/2019)

2.3 Técnicas e END aplicados a pneus

Desde que os pneus foram postos em uso, tal como qualquer outro produto de uso contínuo, é identificada uma necessidade de criar algum tipo de inspeção e teste não-destrutivo que permite aferir o bom funcionamento, segurança e qualidade do produto. Dado que os pneus sofrem um desgaste continuado e inevitável, várias técnicas foram surgindo de forma a tentar dar resposta a esta necessidade de monitorizar a condição do pneu. Assim, uma primeira patente respondeu a esta necessidade com uma análise dos padrões do rastro dos pneus que consistia na avaliação por comparação do rastro com um modelo padrão para detetar qualquer defeito (G.G. Liversidge J.F. Bishop, D.A. Czekai [1980]). Após alguns anos, surge outra patente em que é realizada uma análise interferométrica da superfície do pneu (Yamauchi and Schofer [1986]). Para verificar se o pneu teria algum cabo de reforço fraturado, foi patenteada uma técnica que analisa dois estados de pressão diferentes do pneu. (J. Yovichin [1994]).

Mais recentemente, um aparelho foi desenvolvido para detetar de-laminações e cortes em pneus, sendo também patenteado, pois o mercado de pneus recauchutados assim o necessitou (J. Heitzler, Frank and S. Hill [2012]). Outro método surge ao fazer uma interferometria de corte com recurso a *speckle*, com o objetivo de encontrar separações entre as camadas [Kim, 2004].

Embora muitas técnicas tenham sido desenvolvidas, apresentam muitas limitações à implementação prática, como a alta sensibilidade às condições de análise, a própria tecnologia necessária, a duração de cada análise, o tamanho do dispositivo utilizado, entre outros. Para o objetivo deste trabalho, os métodos descritos brevemente são inexecutáveis, mudando a foco para soluções modernas, como a realização de um *scan* 3D da superfície do objeto, tendo em mente que numa primeira abordagem, a intenção é apenas a avaliação da superfície do pneu e profundidade do rasto.

Apesar de certas tecnologias não serem publicadas em artigos, estão documentadas por via de vídeos ou em fóruns da Internet, estas estão disponíveis para fazer uma reconstrução 3D da superfície do pneu. As técnicas que estes dispositivos parecem usar são *scanners* que usam um laser e se baseiam em princípios de medição por triangulação (a serem descritos posteriormente) para obter os dados.

Na área comercial, os dispositivos disponíveis parecem funcionar pela técnica mencionada ou por análise *light spotting*. Esta última, foi estudada e documentada para a leitura da profundidade, porém não faz uma reconstrução da superfície do pneu (Kai et al. [2017]).

Uma área em que o presente trabalho pode ser relevante é o setor rodoviário. Com frotas de veículos é do interesse das empresas garantir que os pneus estão em condição de uso, que tenham a manutenção necessária, garantido uma profundidade do rasto viável e monitorizar o nível de desgaste, evitando deste modo paragens não planeadas ou mesmo acidentes, evitando assim custos e operar com mais segurança. Atualmente, o controlo da superfície do pneu é feito pela medição da profundidade do piso em pontos arbitrários e por inspeção visual global.

2.4 Técnicas e aquisição de dados

No âmbito deste trabalho, a aquisição de pontos da superfície de pneus é preponderante para que a análise automática desta seja possível, sendo algumas técnicas mais simples e outras mais complexas, cada uma com as suas vantagens e limitações. Deste modo, a escolha da técnica de aquisição deve ter em conta, tanto a tecnologia usada como as suas limitações, tempo de operação, robustez a variação de condições de aquisição, entre outros.

Para este trabalho foram considerados dois grupos de técnicas que conseguem adquirir a informação da superfície necessária para depois processá-la. Em ambas as técnicas, a aquisição e armazenamento de dados dá-se numa nuvem de pontos. Esta é definida por um conjunto de pontos com coordenadas tridimensionais, descrevendo, de forma discreta, a

superfície do objeto, podendo um exemplo ser observado na figura 2.6.

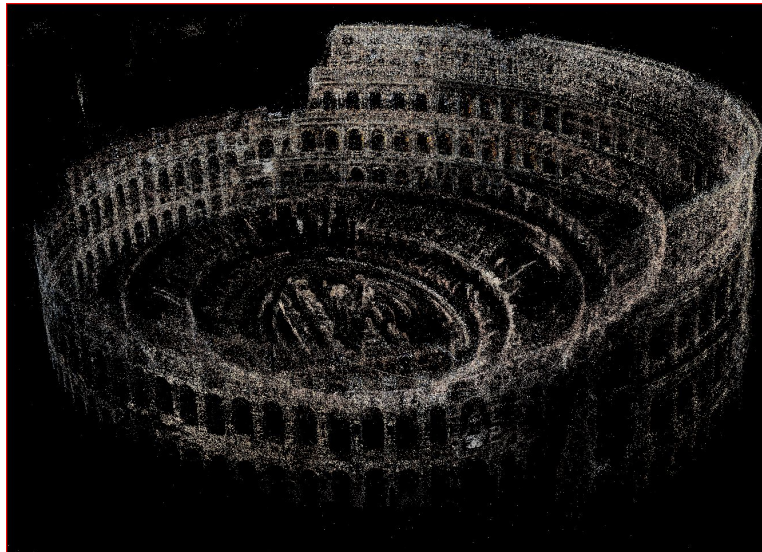


Figura 2.6: Exemplo de uma nuvem de pontos (<http://grail.cs.washington.edu/rome/dense.html>
@ 04/12/2019

2.4.1 Scanners 3D

Uma maneira de proceder a aquisição de dados é através da utilização de *scanners 3D*. Estes caracterizam-se por ser equipamentos de medição que procedem à aquisição de dados como pontos, texturas entre outros, em determinadas coordenadas, denominadas de nuvem de pontos, que combinados com um *software*, fazem uma reconstrução 3D aproximada do objeto em análise. Existem várias classes deste tipo de equipamentos sendo algumas delas:

Contacto

São *scanners 3D* que recorrem ao contacto físico com o objeto através de uma sonda. Rapidamente este método se explica por um objeto fixo, e uma sonda a percorrer a sua superfície de forma a mapeá-la. Este método é preciso no entanto, como é necessário um contacto físico, a velocidade de mapeamento será baixa. Não será um método alinhado com o objetivo deste trabalho.

Sem contacto

Existem diversos *scanners* deste tipo, entre eles, existe uma categoria denominada de ativa pois usam luz, radiação ou som de forma a reconstruir a superfície em análise. Um destes *scanners* utiliza luz pulsada, que recorre a feixe de laser para adquirir informação. Outro recorre a triangulação, em que um *scanner* emite um feixe de laser, sendo a sua reflexão

apanhada por um sensor ou câmara, reconstruindo assim a superfície do objeto, como se pretende ilustrar através da representação na figura 2.7 .

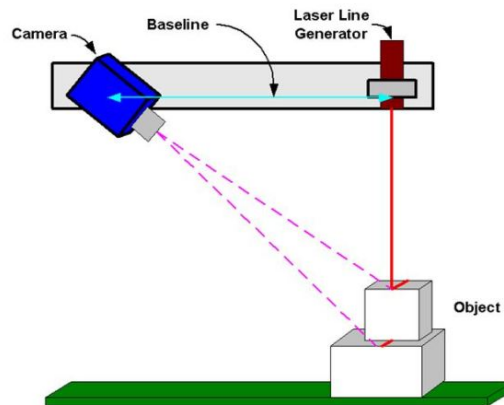


Figura 2.7: 3D Scanner: Diagrama do método de triangulação

Outra técnica utilizada é um *scanner* de luz estruturada. Esta técnica recorre à projeção de padrões conhecidos de luz sobre o objeto, sendo a deformação do padrão lido por uma câmara, que por sua vez calcula e mapeia a superfície do objeto. Um exemplo de um passo do processo pode ser visto na figura 2.8.

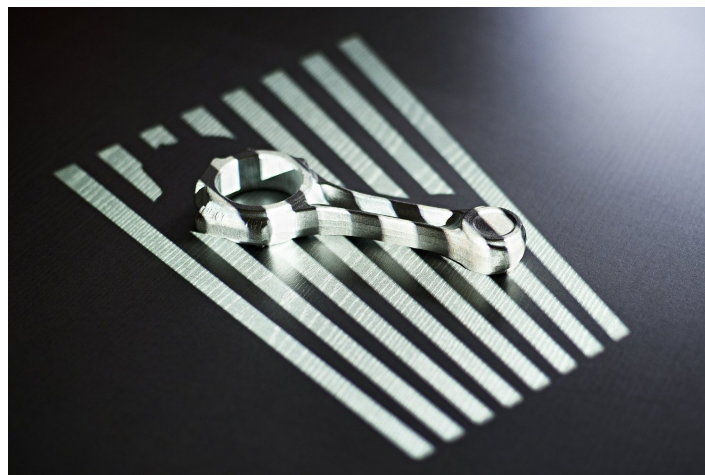


Figura 2.8: Scan 3D: Padrão de luz estruturada (Google.com @ 17/07/2019)

Na utilização de *scanners* que operam através de luz ou feixes de laser, é preciso entender os fatores que influenciam os resultados da leitura da superfície. Por exemplo, é necessário um ambiente propício ao método, como a luz ambiente que poderá ter mais ou menos influência consoante a tecnologia empregada. A interface entre o *scanner* e a superfície do

objeto é deveras importante, pois a precisão do *scanner* pode não ser suficiente para retratar esta, ou se esta for demasiado transparente ou brilhante, pode ser impossível utilizar alguma das técnicas mencionadas. Uma forma de ultrapassar a dificuldade de superfícies transparentes é aplicar uma camada de tinta ou pó de forma a eliminar a transparência e a superfície passe a ser perceptível para o *scanner*.

Embora estas técnicas que envolvem dispositivos digitalizadores sejam geralmente de custo significativo, um grupo no México tentou obter uma digitalização 3D de baixo custo usando apenas um sensor de distância ótico 1D (León et al. [2013]). Apesar do sucesso do estudo, e com um orçamento abaixo de 500 dólar americanos, um *scanner* de resolução mais alta deve ser usado em campos mais especializados. Outra observação feita no artigo foi que os *scanners* são altamente influenciados pelas características da superfície dos objetos.

2.4.1.1 Vantagens e Desvantagens

Os *scanners* apesar de serem uma tecnologia fiável possuem limitações. De forma resumida, os *scanners* apresentam várias vantagens como precisão, rapidez e um tempo de operação reduzido, dependente do tipo de *scanner* utilizado. Porém, como recorrem a luz, feixes de laser, são dependentes do tipo de superfície a ser analisada, do ambiente em que estão inseridos e da capacidade e mobilidade do próprio *scanner*.

Este tipo de técnicas tem a desvantagem de ser limitada ao tipo de superfícies, a forma como faz a reconstrução da superfície, pois uma digitalização recorrendo a uma linha de laser apenas lê os pontos numa dada localização ao longo dessa linha em cada instante de um processo de varrimento da superfície, sendo preciso um *software*, em tempo real, a criar e colocar os pontos lidos numa dada coordenada, passando no instante seguinte para uma próxima coordenada. A nível da técnica de luz estruturada, o objeto não pode ter dimensões maiores ao tamanho do padrão de luz que este *scanner* consegue projetar, estando também limitado a uma dimensão mínima.

Outra desvantagem é o considerável investimento inicial tanto em *hardware* como em *software*.

2.4.2 Fotogrametria

A técnica de fotogrametria baseia-se numa aquisição de imagens que devem ter uma sobreposição de forma a permitir que marcas de referência do objeto/paisagem sejam identificadas em mais que uma fotografia. Com isto é possível construir uma reprodução do modelo pretendido, como se fosse um puzzle.

Os primeiros usos de fotogrametria ou o uso que parecia ser mais corrente é fotogrametria aérea, de forma a melhor entender o mapeamento do território, como pode ser exemplificado pela figura 2.9. Com algumas referências presente nas fotografias pode-se extrapolar medidas aproximadas.

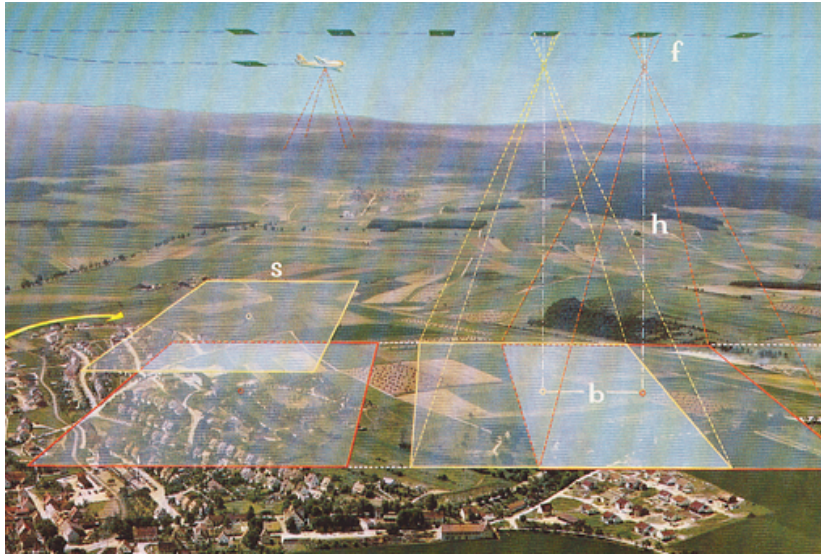


Figura 2.9: Esquemática de fotogrametria aérea (<http://www.megatimes.com.br/2014/05/fotogrametria-ciencia-aplicada.html> @ 20/09/2020)

No entanto, na atualidade, cada vez é de maior o interesse em encontrar métodos eficientes e de baixo custo de forma a fazer um *scan* do objeto em estudo. Esta necessidade é despertada por outras tecnologias que paralelamente também estão em desenvolvimento. Têm-se por exemplo, a visualização tridimensional de objetos, sejam eles na área de medicina, industrial. Ao tornar a técnica de fotogrametria num "pequeno *scanner*" os custos associados normalmente a este tipo de operações diminuem, principalmente quando se encontram numa fase inicial/de protótipo.

Um diagrama simplificado da técnica de fotogrametria para este trabalho pode ser observado na figura 2.10. Note-se que apesar do diagrama não ter as fotografias sobrepostas, apenas por simplificação, na técnica de fotogrametria, as imagens adquiridas têm de ter alguma percentagem de sobreposição de forma a conseguir resultados.

Foi feito um estudo com o objetivo de averiguar a precisão da técnica de fotogrametria em curto alcance, usando esta técnica para efetuar medições. Este estudo utilizou uma câmara de um telemóvel como o equipamento de aquisição de imagens. Usou ainda o *software* *Photomodeler* de forma a processar as fotografias em que os resultados foram bons, suportando a fotogrametria como um método eficiente, rápido e de baixo custo (Fawzy [2019]).

A fotogrametria tem aplicações nas mais diversas áreas, e vários desses exemplos podem ser encontrados na medicina, onde um rápido e por inteiro *scan* do corpo pode ser feito, (Pesce et al. [2015]), ou utilizar um microscópio de elétrons por varrimento de forma a reconstruir um modelo 3D de uma nano partícula (Gontard et al. [2016]).

Num artigo, em alguma forma similar ao tema deste trabalho, foi usada fotogrametria para recriar um modelo do rastro deixado por um pneu de trator com a finalidade de identifi-

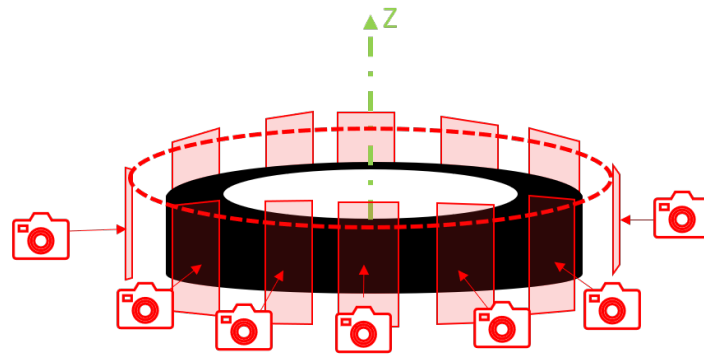


Figura 2.10: Diagrama ilustrativo da técnica de fotogrametria

car os fatores que promovem a compactação do solo num contexto de agricultura (Kenarsari et al. [2017]).

2.4.2.1 Vantagens e Desvantagens

A fotogrametria apresenta algumas desvantagens como a qualidade mínima que o conjunto de fotografias deve ter. A quantidade de fotografias que serão necessárias e/ou o tempo de processamento de *software* quando este está a processar as imagens construindo um modelo 3D; Quando uma superfície apresenta um padrão similar ou recorrente será necessário marcadores de forma a que o *software* consiga montar o puzzle sem sobrepor as imagens todas.

Contudo, esta tecnologia é bastante versátil em vários aspetos como as dimensões do objeto em análise. Como referido anteriormente, é uma técnica que pode ser utilizada em grande escala, como aero-fotogrametria, em escala média ou numa nano escala, dado que um microscópio de varrimento é capaz de tirar fotografias a nano-partículas. Apresenta ainda a facilidade de mobilidade e conveniência do dia-a-dia se o objeto em estudo puder ser capturado com uma câmara hoje presente em qualquer *smartphone*. Sendo assim, é uma vantagem o processamento das imagens estar independente da aquisição destas.

2.5 Processamento de dados

Para reproduzir o objeto num modelo, é necessário um *software* para processar os dados adquiridos. Entre os *softwares open source* disponíveis, vários podem ser usados como MeshLab, VisualSFM, Co1Map ou 3DF Zephyr Free.

O *VisualSFM* e *ColMap* são usados para a criação de uma NP/malha através de fotografias, não sendo possível a edição da informação. O *MeshLab* é usado para editar NP e/ou malhas, ou para transformar a NP numa malha. As fotografias adquiridas podem ser processadas por estes, no entanto o *3DF Zephyr Free* é o que aparenta ser o mais completo e intuitivo para um usuário inexperiente em processamento de imagem, tendo incorporado um sistema de calibração da máquina fotográfica utilizada, corrigindo assim eventuais distorções causadas pela lente (figura 2.11).

No caso de scanners 3D, tipicamente estes equipamentos vêm com o seu próprio *software*, podendo ser depois exportada uma NP para os *softwares open source* e executar o processamento com estes.

No caso de ser necessário fazer ajustes na NP, o *software GOM Inspect* será indicado para o mesmo. Este *software* permite a manipulação dos dados, sejam NP ou malhas, de forma a melhorar a informação a ser processada posteriormente. Idealmente não se pretende que os dados adquiridos necessitem de alguma ajuste que seja necessário utilizar este *software*, ou seja, fazer a aquisição de forma a que seja viável submeter a informação recolhida diretamente para processamento.

Tendo a NP e por sua vez uma malha que liga os pontos, o objetivo é extrair, por meio do processamento de dados, a profundidade do piso e avaliar a condição da superfície e, classificando ou categorizando cada secção. Um possível *software* para executar o processamento é o *MatLab*, que será o usado neste trabalho.

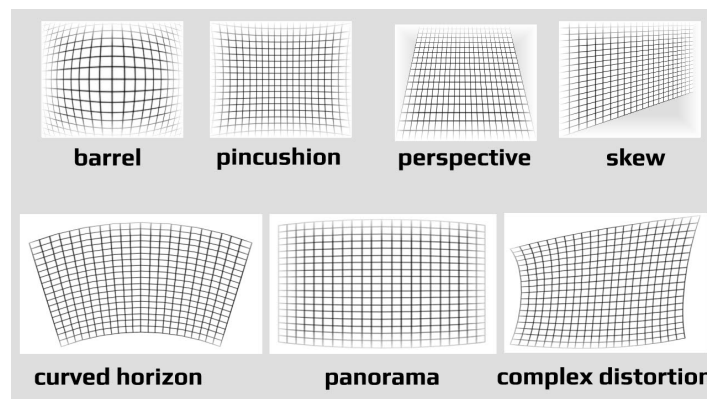


Figura 2.11: Exemplos de distorções provocadas pela lente de uma máquina fotográfica(<https://tehnoblog.org/photoshop-tutorial-how-to-remove-image-distortion/>
@04/12/2019

2.6 Avaliação e classificação do piso de um pneu através de fotogrametria

Embora tenha sido realizada uma pesquisa, não foram encontrados artigos que documentavam a especificamente a digitalização em 3D da superfície dos pneus e avaliar o estado da superfície.

Muitos artigos documentaram o uso da fotogrametria para construir um modelo 3D de um objeto, que em alguns casos foi impresso em 3D. Outro uso recorrente da fotogrametria é levantamento para SIG (sistema de informação geográfica) aéreas de terrenos ou mesmo edifícios, como mencionado anteriormente. Um uso curioso mas nobre, está no campo da medicina, onde com fotografias, uma reconstrução 3D completa de uma pessoa pode ser realizada, como mencionado acima. Assim, é possível criar ferramentas de baixo custo e não invasivas que façam a diferença. Utilizando estas técnicas, a construção dos modelos 3D de um objeto possibilitam, entre outras aplicações, a sua futura impressão 3D. Como apontado anteriormente, um *scanner* geralmente implica um investimento maior em *hardware* em comparação com a fotogrametria, mas pode ser mais preciso, a escolha entre as duas técnicas estará sempre dependente da aplicação final.

Portanto, este trabalho pretende explorar a avaliação do estado superficial de pneus usando a técnica de fotogrametria de curto alcance, e, caso seja possível, comparar o resultado com uma avaliação feita com um *scan* de luz estruturada.

3

Procedimento de aquisição e processamento

Este capítulo descreve o procedimento usado neste trabalho. O procedimento é apresentado e a cada etapa deste são detalhados as particularidades e as precauções que devem ser tomadas.

O primeiro passo é a aquisição de dados, que inclui o método de adquirir uma NP tridimensional da superfície do pneu. Pode-se obter este resultado com recurso a um *scanner* 3D ou recorrendo à técnica de fotogrametria. Num segundo passo, é realizado o processamento dos dados, que envolve uma limpeza do excesso de informação assim como uma reorientação e alinhamento dos eixos da superfície digitalizada. Obtém-se então uma NP limpa que pode ser sujeita a classificação quanto ao estado da superfície do pneu.

3.1 Aquisição de dados

Para obter os dados, uma leitura da superfície do pneu deve ser realizada, usando uma das duas técnicas: fotogrametria ou *scanner* 3D recorrendo à luz estruturada.

O modelo (pneu) deve ser posicionado de uma maneira que facilite o processamento das imagem numa fase posterior. Um cenário de iluminação difusa garante melhores resultados e esta pode ser natural ou artificial. Como estas técnicas são sensíveis apenas ao objeto maior no enquadramento da câmara, não será necessário uma preocupação acrescida em limpar ou

tornar o fundo neutro e/ou liso.

São obtidos resultados com melhor qualidade quando se utiliza um apoio rotativo, com marcações que permitem uma centralização precisa razoável do pneu, mesmo que esta seja manual, e com uma câmara suportada por um tripé, garantindo uma distância e posição constante em todos os momentos entre a lente da câmara e a superfície do pneu. Note-se que esta coleta de dados não solicita um utilizador experiente em aquisição e processamento de imagem, tornando estas técnicas acessíveis. Um diagrama pode ser observado na figura 3.1.

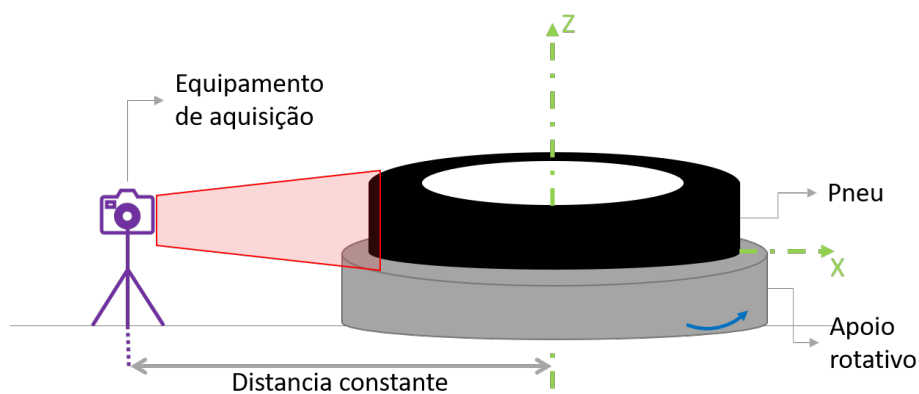


Figura 3.1: Diagrama de aquisição de dados

Note-se que, devido ao padrão do pneu, é necessário realizar marcações físicas em todo o redor, como exemplificado na figura 3.2, de forma a conseguir reproduzir o pneu nos seus 360°. Esta limitação é comum entre a fotogrametria ou o *scanner* de luz estruturada. Estes marcos servem para os *softwares* conseguirem realizar uma construção do modelo.



Figura 3.2: Marcos no pneu por meio de uma caneta de giz

3.2 Processamento dos dados

Tendo uma NP, o passo seguinte será realizar várias verificações e correções se assim for necessário e transformações. Ora entenda-se que na possibilidade de fazer uma aquisição com os parâmetros definidos na secção anterior, o trabalho ficará facilitado neste passo devido a:

- **Orientação:** O pneu deve estar orientado de forma a que o seu eixo axissimétrico seja paralelo com o eixo vertical do *software*, sendo este desalinhamento ilustrado na 3.3. Posteriormente a este alinhamento, será realizada uma centragem do pneu de modo a fazer coincidir o eixo axissimétrico do pneu com o eixo vertical, z do sistema, ou seja, Realizar uma transformação de coordenadas de modo a que as coordenadas locais do pneu coincidam com as do *software*. Porém, como o pneu em teoria tem um eixo axissimétrico, as coordenadas x e y não necessitam de sofrer esta transformação.
- **Limpar a NP:** Poderá haver pontos que não pertencem ao pneu e podem ser desconsiderados diminuindo a informação que deverá ser processada.
- **Filtrar a NP:** Na mesma linha de pensamento do ponto anterior, dado que o objeto de estudo neste trabalho é a parte central do rastro, as margens laterais serão desconsideradas na análise, diminuindo o volume de informação a ser processado nas fases seguintes, diminuindo assim o tempo computacional.

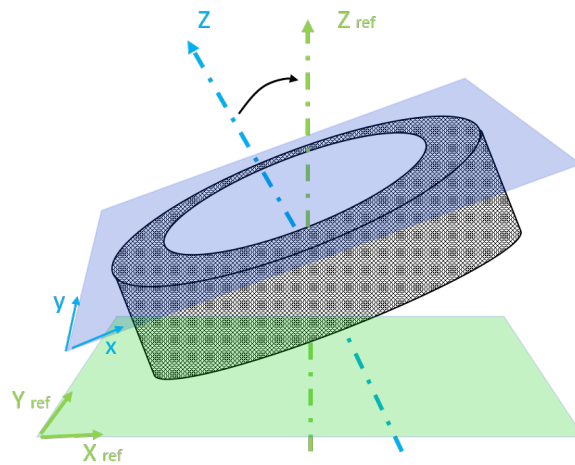


Figura 3.3: Diagrama do alinhamento do pneu

Dado que o pneu possui um eixo axissimétrico, ou seja, o rastro apresenta uma superfície plana e curva a semelhança de um cilindro, é possível utilizar coordenadas polares na análise. Estas podem definir-se por serem um sistema de coordenadas bidimensional, em que cada ponto é definido por uma distância a um ponto e direção de referência, ao invés das CC, que é um sistema tridimensional, onde o ponto é definido por 3 distâncias a uma origem de referência.

A transformação de CC em CP pode ser observado na figura 3.4.

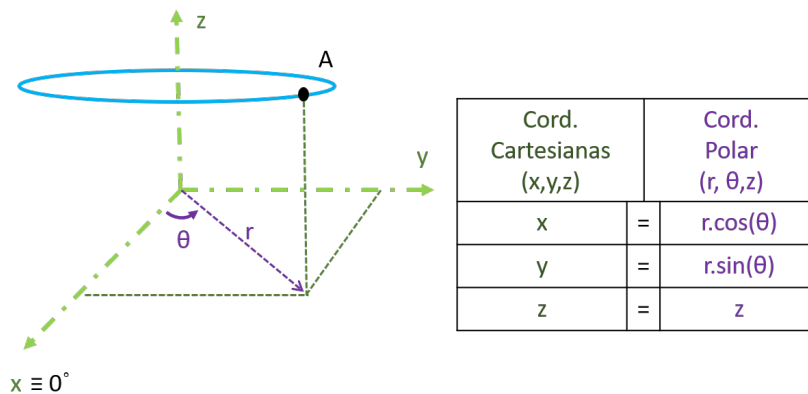


Figura 3.4: Transformação de coordenadas: CC para CP

Note-se que apenas pneus que possuam um rastro liso podem ser processados pelo código aqui desenvolvido em MatLab, pois estes são similares ao formato de um cilindro. Um pneu de um motociclo também é considerado com forma toroidal no entanto a sua superfície é curva. Esta curvatura é necessária de forma a garantir um contacto constante e seguro com

Tabela 3.1: Classes de classificação

Profundidade [mm]	Perigo	Cor de classificação
$p < 1.6$	sim	Encarnado
$1.6 < p < 2$	sim, mas legal	Laranja
$2 < p < 4$	não aconselhável	Amarelo
$4 < p < 8$	seguro	Verde
$p > 8$	erro	Azul

a estrada pois com a inclinação/ao virar o ponto de contacto difere. Uma ilustração desta variação do ponto contacto pode ser vista na figura 3.5.

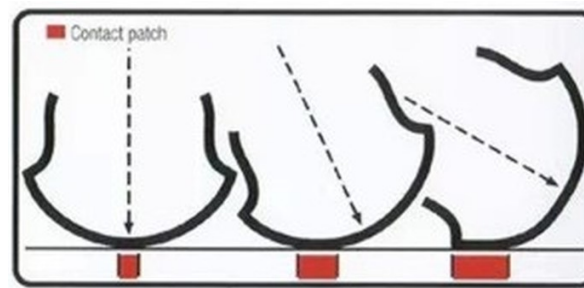


Figura 3.5: Variação do ponto de contacto de um pneu de motociclo. (Google.com @ 20/09/2019)

3.2.1 Avaliação e classificação dos dados

Tendo uma NP limpa e filtrada, os dados estão prontos a ser analisados e classificados. Esta NP passará por certos ciclos de código de forma a determinar o raio menor do rastro, que corresponderá ao rasgo. Por comparação a esta medida, todos os outros pontos serão classificados de acordo com a sua diferença. As classes de classificação propostas, tabela 3.1, baseiam-se na profundidade do rastro e consoante esta, a segurança que este apresenta.

Estando todos os pontos classificados, o resultado final é apresentado de forma explícita, através de uma imagem que será uma representação do pneu, podendo este ser planificado, de forma a lê-lo por completo. A imagem apresentará as variações de cor consoante os defeitos detetados (neste trabalho, passará apenas pela identificação da profundidade do rastro).

3.2.2 Fluxograma

De forma a simplificar o entendimento do processo, de seguida são apresentados dois fluxogramas. O primeiro, figura 3.6, descreve superficialmente o método de aquisição e transformação em NP. O segundo, figura 3.7, descreve o trabalho de computação por trás do código *MatLab*.

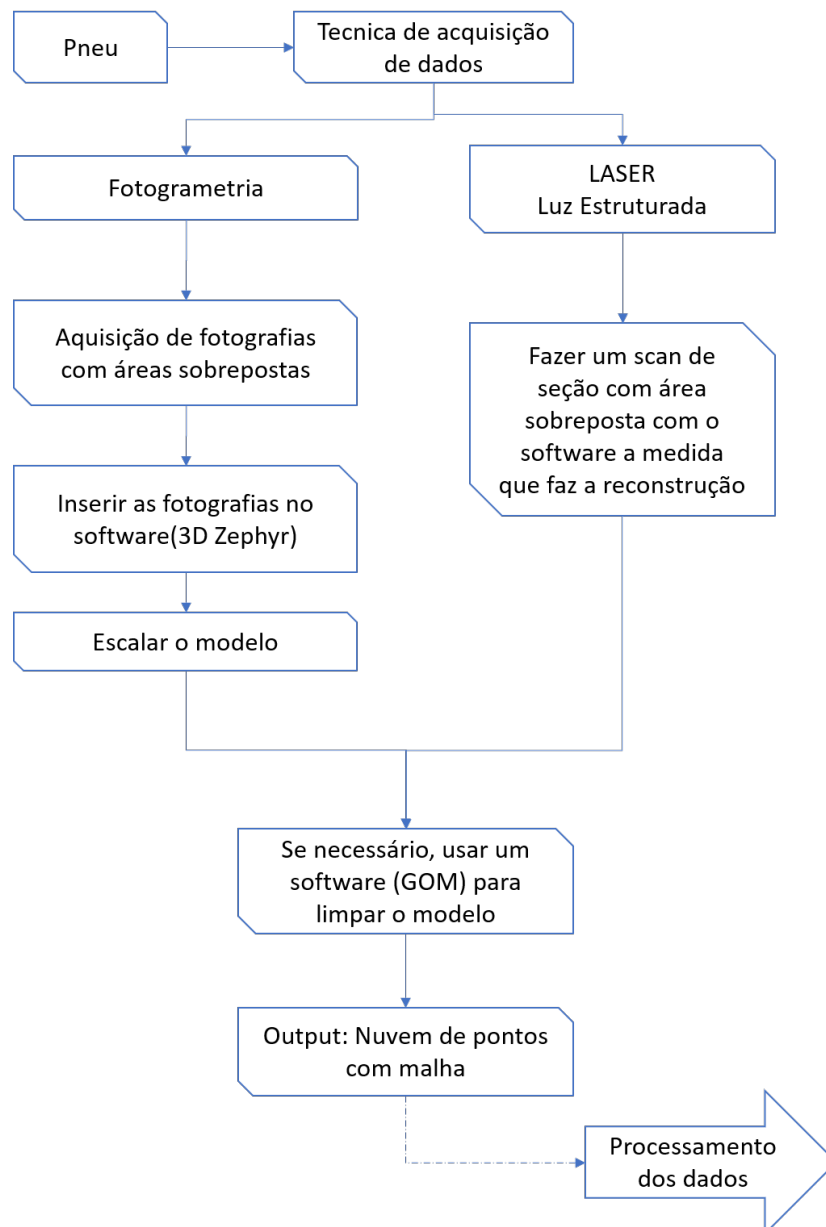


Figura 3.6: Fluxograma de aquisição de dados

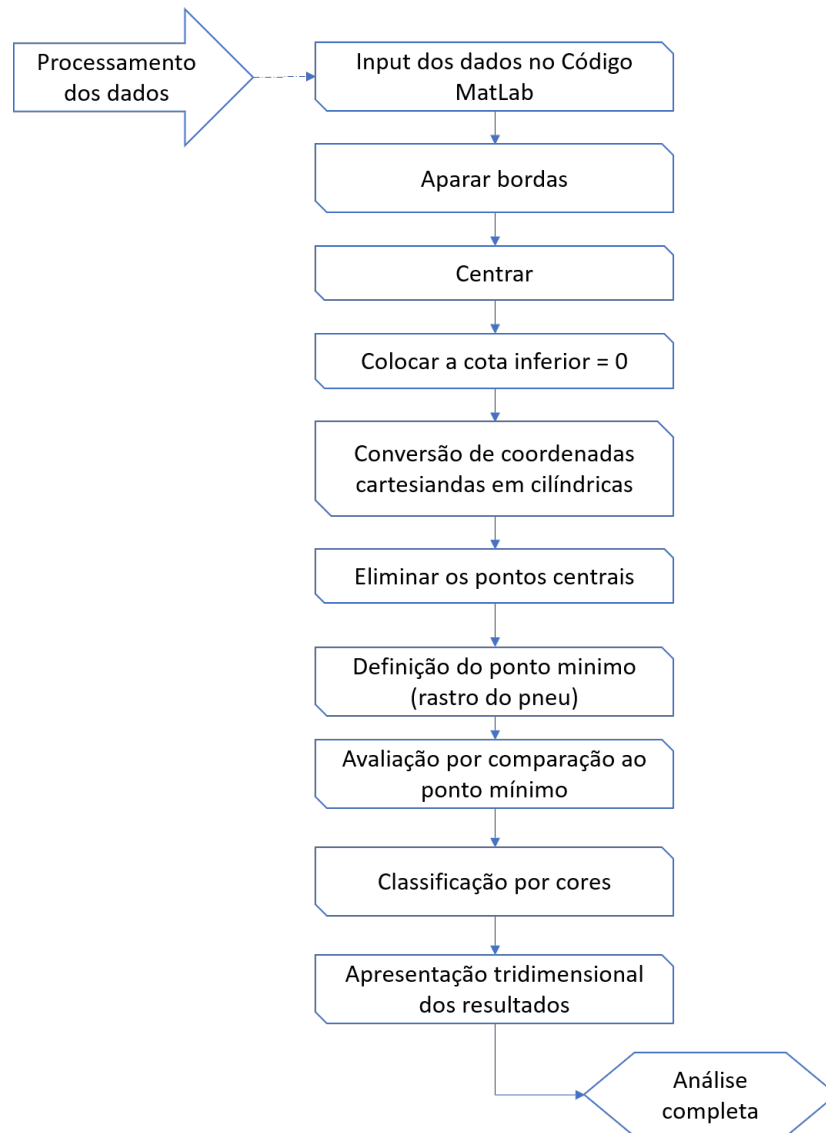


Figura 3.7: Fluxograma de processamento de dados

3.3 Detalhes e precauções a ter

Considerando que estas técnicas, fotogrametria ou digitalizadores, constroem uma NP, algumas particularidades devem ser levadas em consideração.

Centrar o pneu

Uma formula simples pode ser usada para centrar o pneu. Fazendo uso das coordenadas

máximas e mínimas em x e em y , é possível centrar o pneu de forma rápida e simples da seguinte forma:

- 1 Realizar a média da coordenada maior e menor de cada eixo
- 2 Subtrair a todos os pontos o valor obtido para cada eixo

Um exemplo de como obter esse valor está apresentado na figura 3.8.

Surge um problema quando existe um defeito ou variação da geometria brusca, inutilizando a forma mencionada, como pode ser exemplificado na figura 3.9. Uma forma de tornar o algoritmo robusto será comparar o valor do diâmetro obtido na nuvem de pontos com o diâmetro calculado pela equação 2.1, de forma a encontrar o verdadeiro centro.

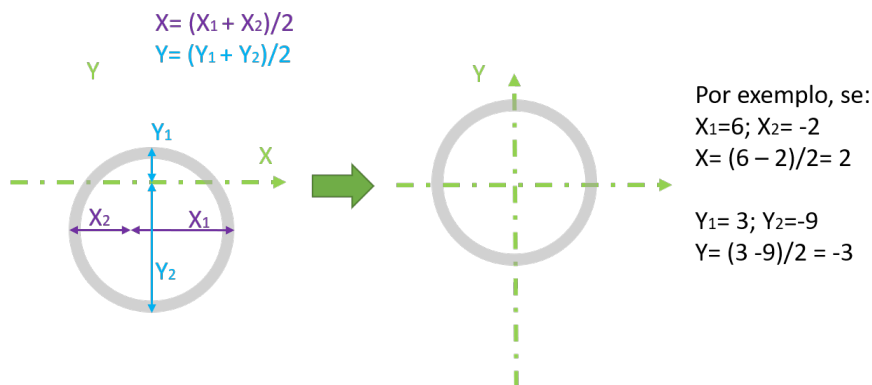


Figura 3.8: Centrar um pneu: centro verdadeiro

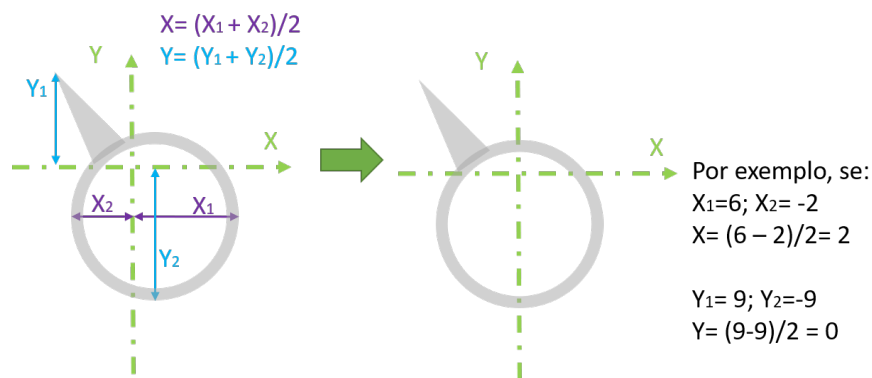


Figura 3.9: Centrar um pneu: desvio do centro verdadeiro

Dado que o centro é um ponto de extrema importância, sendo o ponto de referência, no uso de CP, uma avaliação crítica deve ser feita no código do MatLab para verificar se ocorreu algum desvio.

Ruído

Se a qualidade do *scan* for baixa, e por sua vez a construção da NP tiver pouca qualidade e/ou resolução a análise poderá apresentar várias classificações falsas.

Outro problema identificado são as paredes das indentações do pneu, pois alguns dos pontos estarão a menos de 1,6 mm no entanto são pontos que pertencem a parede e não a superfície do rasto, como exemplificado na figura 3.10.

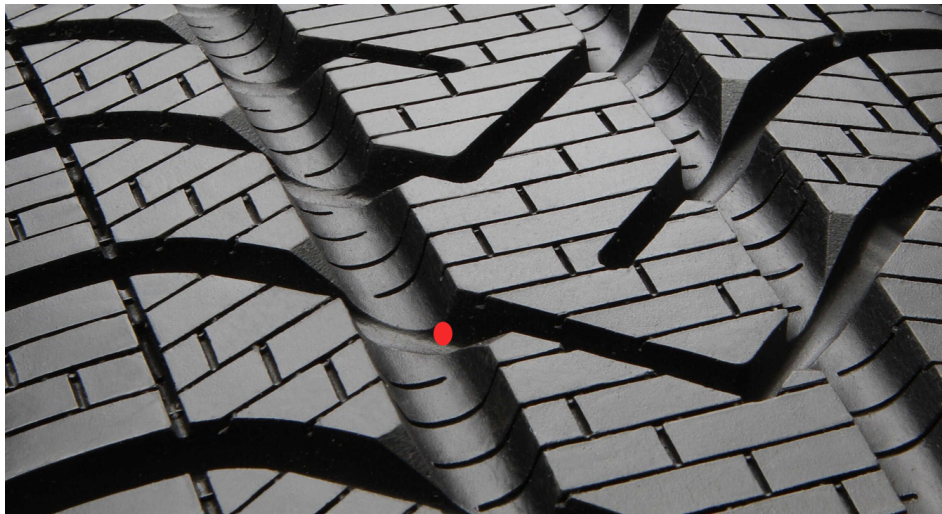


Figura 3.10: Previsão de um falso positivo

Dado que o código procura os pontos mínimos do pneu, considerado-os como ponto de referência pois é parte do rasto que não sofre desgaste (a indentação), caso surja um defeito que retire material provocando um depressão mais funda que o rasto, o código apresentará resultados falsos.

Porém, dado que a NP é densa, prevê-se que os falsos positivos derivados das paredes, sejam de certa forma sobrepostos pelos pontos da superfície, tenham eles a classificação que tiverem. Em última análise, estes falsos positivos apenas desenharão o padrão do rasto em pormenor, podendo assim esta limitação ser usada como despiste ou comprovar a qualidade da análise. Por exemplo, caso surja um corte profundo/depressão como mencionado, na reconstrução final e classificada da NP não será possível reconhecer o pneu e seu padrão.

Com isto pode-se extrapolar que será necessário um balanço entre todas as cores de classificação, sendo um resultado esperado, de um pneu ainda em boas condições, ilustrado na figura 3.11

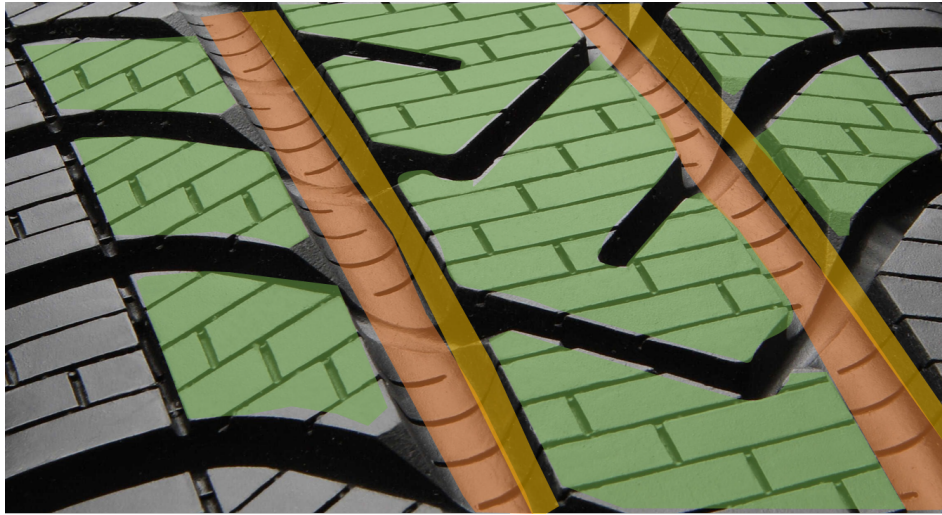


Figura 3.11: Previsão do resultado final

3.4 Equipamentos auxiliares

É fundamental ter um suporte estável para garantir uma rotação suave, garantindo assim melhores resultados. Embora existam muitas soluções para isso, neste trabalho foi usado um cubo de roda adicionando uma estrutura semelhante a uma cruzeta. Esta opção foi a escolhida por ser uma solução simples que pode equiparar-se a uma máquina de calibragem de pneus. Um estudo adicional pode ser feito para criar um mecanismo simples que permita controlar a rotação da roda, fazendo assim a aquisição de dados sem desmontar a roda do veículo.

Uma ilustração do acessório usado pode ser observada na figura 3.12 e na figura 3.13. O comprimento de cada braço é de 300 mm, acomodando pneus com um diâmetro total de 440 mm.

Foi ainda usado um pequeno tripé, de forma a estabilizar e manter a câmara no mesmo local, sendo a montagem global a exemplificada na figura 3.1

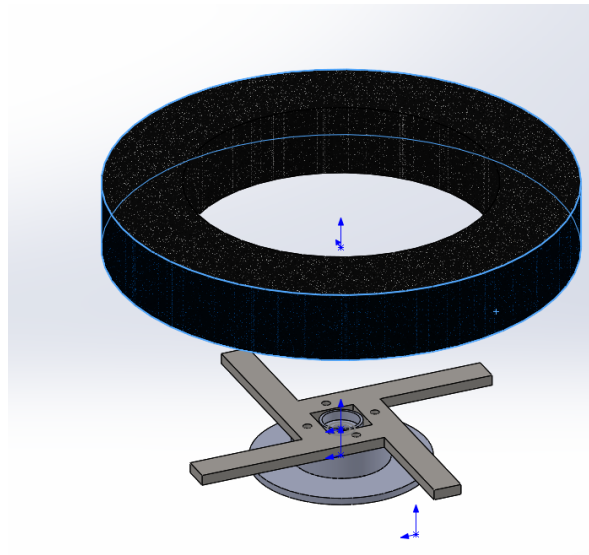


Figura 3.12: Ilustração da base rotativa criada

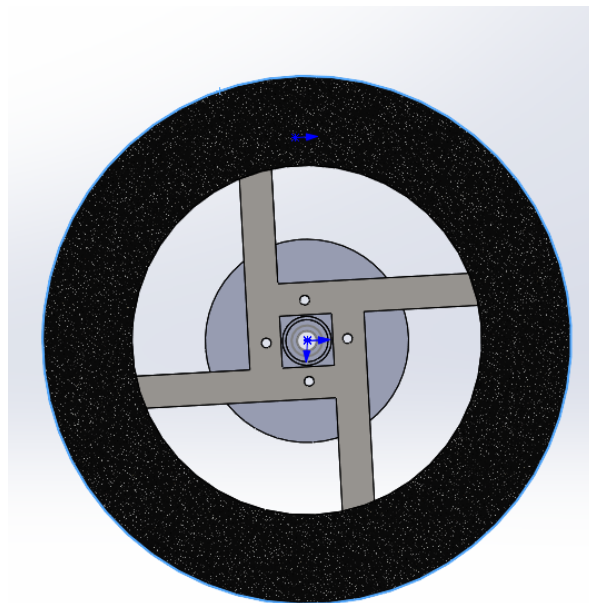


Figura 3.13: Ilustração da base rotativa: vista de topo

4

Resultados e Discussão

O presente trabalho foi iniciado pela realização inicial de vários testes ao código escrito em MatLab, com um pneu simplificado desenhado em 3D. Deste modo, foram descobertas limitações porém estas são contornáveis. Houve portanto um desenvolvimento gradual do algoritmo à medida que era injetada mais informação ou na tentativa de torná-lo mais robusto. Desta forma neste capítulo, será reportado o percurso de desenvolvimento do presente tema até ao ponto de situação atual.

4.1 Estratégia

De forma resumida, a estratégia para analisar a NP a nível computacional assentou nas seguintes premissas:

- Como a geometria do pneu tem um eixo axissimétrico, esta pode ser usada na análise facilitando o processamento de dados em CP.
- Como a profundidade do rastro permanece inalterada, excetuando raras condições como um defeito grande, que por sua vez inutiliza o pneu, esta medida poderá ser utilizada como ponto de referencia para analisar o rastro.
- Como é intencionado analisar a superfície no seu total, chegou-se a conclusão que não faria sentido avaliar várias zonas do pneu individualmente pois este método apenas

mascararia defeitos como uma ovalização do mesmo. Um exemplo será mostrado mais a frente na secção 4.2.3.

Deste modo, várias iterações de código foram implementadas, sendo a mais recente apresentada nas próximas secções.

4.2 Simulação de um pneu

De forma a testar o código implementado, foi inicialmente construído um modelo simplificado de um pneu em *SolidWorks*, com as suas diferentes medidas respetivamente ao rastro e de acordo com a tabela 3.1. O pneu simulado, figura 4.1, é constituído por uma serie de cilindros, tendo o maior 50 unid., o segundo, menos 2 unid., o terceiro menos 2 unid. e o ultimo menos 1,6 unid.. Todas as medidas são relativas ao raio do círculo. Escolheu-se esta diferença entre medidas, (2, 2 e 1,6) de forma a confirmar se o código as estaria a identificar corretamente. Apenas se refere aqui unidades como escala de medição pois não é de interesse se o pneu tem um diâmetro total de 100 mm ou de 400 mm, dado que o único intervalo ou diferença de interesse para a análise é as diferenças entre a profundidade do rastro e o diâmetro maior (superfície).

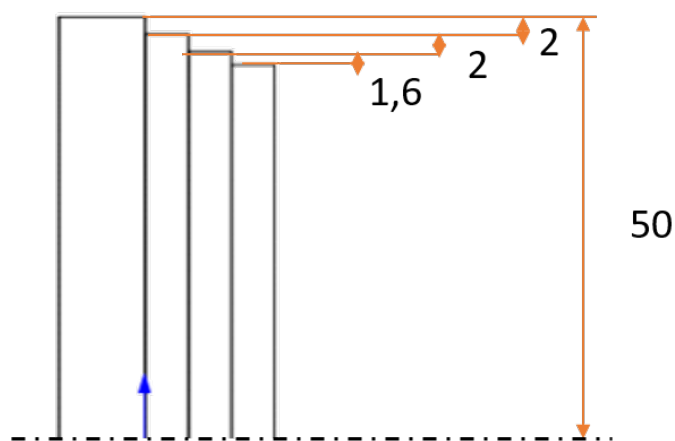


Figura 4.1: Pneu simulado

4.2.1 NP e malhas: implicações no código

Inicialmente apenas foram considerados os pontos que constituem a NP. O código implementado foi portanto direcionado apenas ao tratamento de pontos, o que implicava, após ter modelado o pneu, a sua exportação num ficheiro `.stl`, sendo transformado num outro *software* (*MeshLab*) num ficheiro `.xyz` de forma a estar pronto a ser processado pelo código.

Paralelamente ao desenvolvimento do código, foram feitos alguns ensaios de fotogrametria e verificou-se que esta técnica, além de extrair uma NP extraia também, se desejado, uma malha associada a NP. Foi então pensado que seria do interesse deste trabalho arranjar maneira de processar os dados de maneira a que o resultado final pudesse também ser visualizado com uma malha. Esta observação implicou uma mudança total no código, embora a linha de raciocínio fosse a mesma.

Note-se que um ponto é identificado pelas suas 3 coordenadas (em CC). Um elemento de malha é referenciado por 3 pontos, tendo portanto estes 3 pontos de existir em simultâneo. Note-se ainda que, de aqui em diante quando for referido a representação do pneu em CP, estas estarão planificadas de forma a facilitar a leitura.

4.2.2 Representação dos dados classificados - pneu simulado

A representação do pneu simulado, será apresentado de seguida.

Analisando primeiramente os dados apresentados de forma planificada (CP), pode ser rapidamente observado nas figuras 4.2 e 4.3, existe uma clara distinção entre as diferentes classes de classificação. Nota-se que existem alguns pontos que aparentemente estão mal categorizados, porém não se entendeu porque e assumiu-se que se deve a algum erro computacional entre conversões de CC para CP. Considerou-se também que esta imprecisão não fosse relevante.

Quando os resultados são apresentados em CC, no caso da figura 4.4, o esquema de cores é claro no entanto a diferença de alturas não é imediatamente perceptível. Na opção de uma representação em CC e com malha, no caso da figura 4.5, a leitura é rápida e intuitiva, no entanto o resultado não é possível ler sem rodar os eixos, não sendo portanto uma solução ideal.

Note-se que em ambos os casos, com o pneu planificado ou de volta a sua forma original, no caso das malhas, haverá sempre buracos que aparentam ser erros mas não o são. Isto deve-se a manipulação dos dados que ao apagar um dado ponto, suprime qualquer elemento de malha associada a ele.

Uma nova experiência foi feita, fazendo iterações a um modelo um pouco mais complexo, versus o anterior, sendo o resultado apresentado nas figuras 4.6,- 4.8. Este resultado, ou semelhante, é o que se espera que o código, ao processar a informação de uma NP, apresente no final.

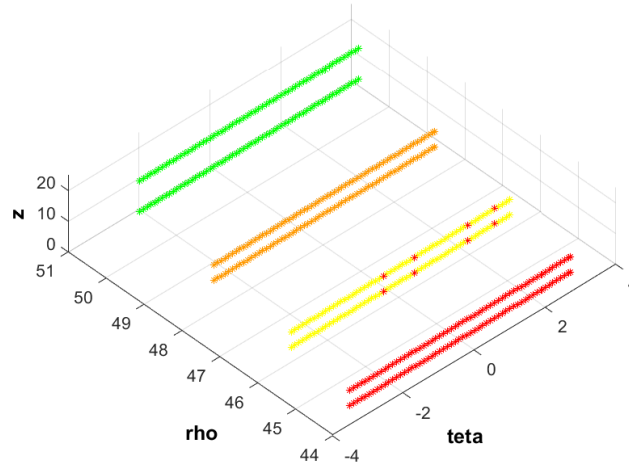


Figura 4.2: Representação final do pneu simulado em CP: Representação através de pontos

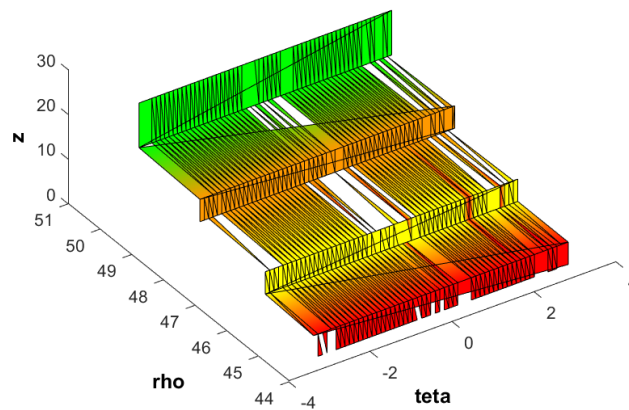


Figura 4.3: Representação final do pneu simulado em CP: Representação através de malha

Ao apresentar este resultado, percebe-se que os resultados planificados são lidos e entendidos mais rapidamente do que os apresentados na geometria original.

4.2.3 Representação dos dados classificados - pneu ovalizado

De forma a identificar uma ovalização do pneu basta olhar para a sua representação planificada, não sendo este defeito tão facilmente detetado na sua forma original. Para exemplificar, foi simulado um cilindro, que na sua parte central surge uma elipse onde um semi-eixo é em 10% superior ao outro, como se pode entender pela figura 4.10. Apesar de nesta ima-

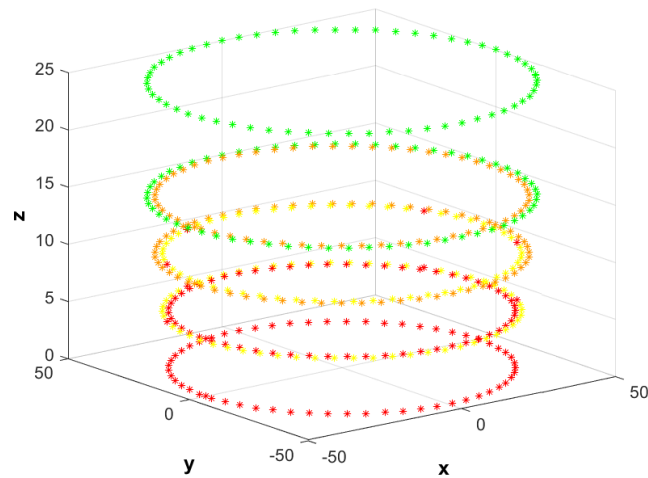


Figura 4.4: Representação final do pneu simulado em CC: Representação através de pontos

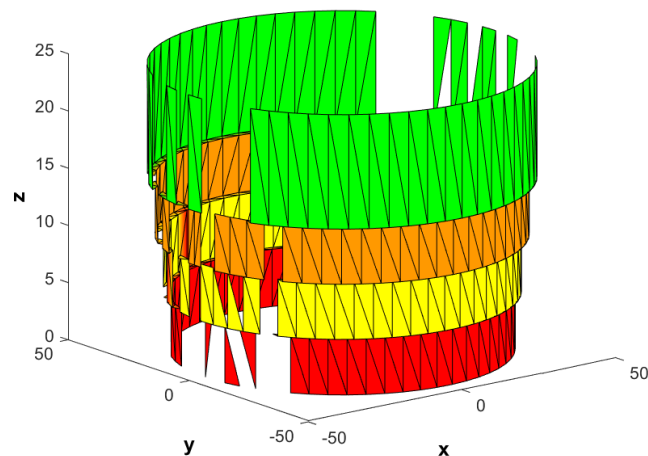


Figura 4.5: Representação final do pneu simulado em CC: Representação através de malha

gem a ovalização esteja exagerada, nem sempre é possível observá-la. No entanto, quando se procede a planificação, a ovalização torna-se clara, como se pode perceber pela figura 4.11. Os pontos a encarnado pertencem ao cilindro, todo ele circular, no entanto, a curva representada pelos pontos a azul e verde acusa imediatamente ovalização.

4.2.4 Simulação de defeito: corte de material

De forma a averiguar se o código implementado detetava algum tipo de defeitos, neste caso um recorte de material, foi simulado também um pneu com uma reentrância, como se tivesse

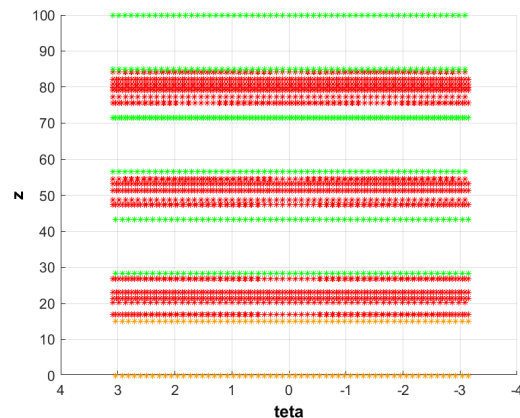


Figura 4.6: Representação final do pneu simulado com geometria mais complexa em CP:
Representação através de pontos

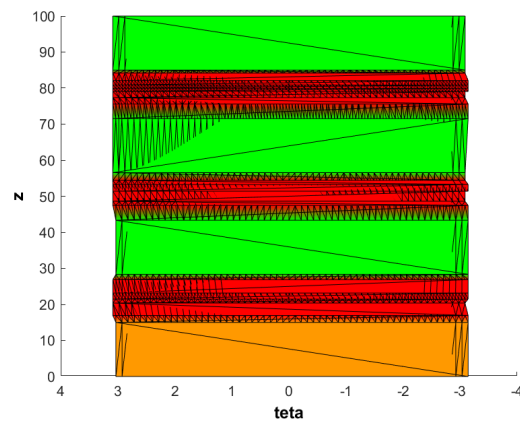


Figura 4.7: Representação final do pneu simulado com geometria mais complexa em CP:
Representação através de malha

havido um desgaste intenso numa certa zona. Não é apresentada aqui alguma imagem do defeito introduzido pois identifica-se logo após a análise, dependendo da apresentação gráfica. Pretende-se mostrar nesta situação dois pontos importantes: os defeitos são facilmente identificados na análise; a representação gráfica selecionada influencia muito a deteção de defeito imediata.

Repare-se na figura 4.15, nesta representação, já referido anteriormente, o defeito não é logo identificado. O usuário tem de mexer no modelo tridimensionalmente de forma a procurar defeitos. Esta representação fica então excluída por não ser compatível com o objetivo final do trabalho. Na figura 4.14, o defeito já será mais fácil de observar, no entanto, um defeito menos exagerado, devido a sobreposição de dados pode não ser identificado, tornando esta representação pouco fiável. Na figura 4.13 é apresentada com um ângulo de visualiza-

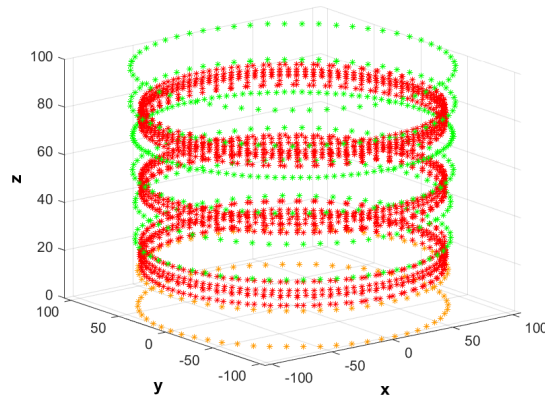


Figura 4.8: Representação final do pneu simulado com geometria mais complexa em CC:
Representação através de pontos

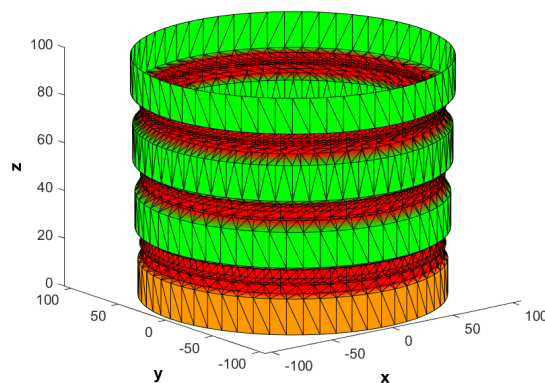


Figura 4.9: Representação final do pneu simulado com geometria mais complexa em CC:
Representação através de malha

ção diferente da figura 4.7, onde esta última é preferida de forma a ser mais perceptível as diferentes profundidades. Neste caso o defeito não seria identificado por falta de discretização da superfície total do pneu, que assumiu um elemento de malha demasiado grande, comparativamente aos demais. Será portanto uma representação rápida de se ler contudo há que ter atenção se este problema se manterá quando houver uma maior informação/discretização. Na figura 4.12, o defeito fica claramente evidenciado.

Ao fazer estas simulações de defeitos, notou-se que, caso o defeito retire material em profundidade suficiente, ou seja, que essa profundidade ultrapasse a profundidade do rastro, a medida de referência será a profundidade do defeito. Embora isto comprometa a análise, o cenário previsível que aconteça é o pneu ficar maioritariamente classificado a encarnado, o que pode ser uma chamada de atenção a que este pneu possui um defeito grave.

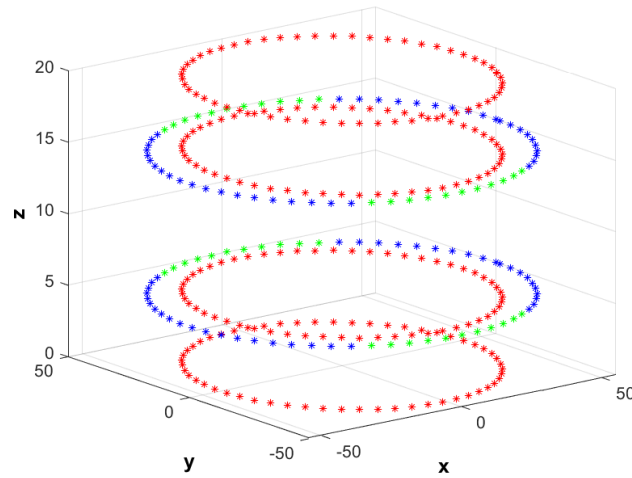


Figura 4.10: Representação final do pneu ovalizado simulado em CC: Representação através de pontos

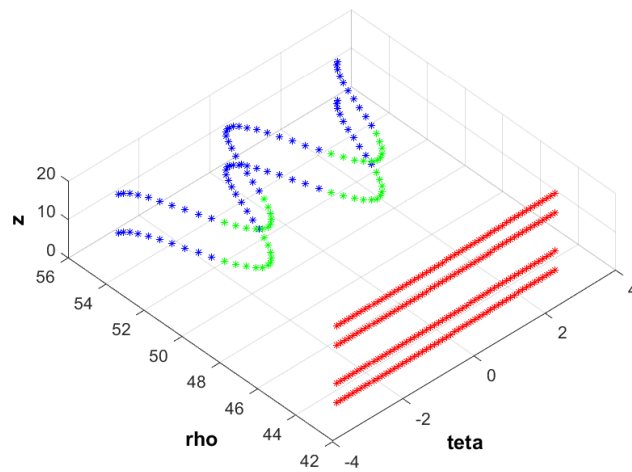


Figura 4.11: Representação final do pneu ovalizado simulado em CP: Representação através de pontos

Como mencionado, a seleção da representação gráfica é de extrema importância, e deve ser escolhida de forma a garantir uma fácil, rápida e objetiva interpretação dos resultados. Seja a representação de pontos ou da malha, a opção mais favorável é a representação em coordenadas polares, que permite a planificação da superfície sem fazer cálculos adicionais, possibilitando a vista global da superfície.

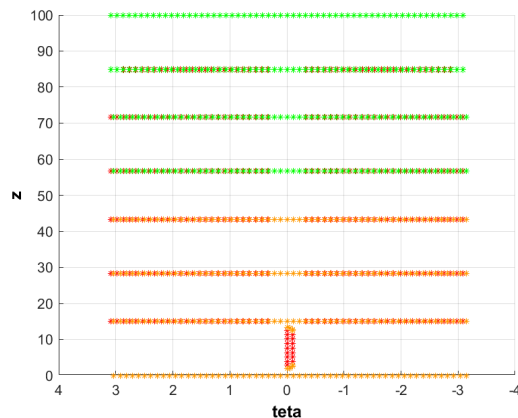


Figura 4.12: Representação final do pneu simulado com defeito em CP: Representação através de pontos

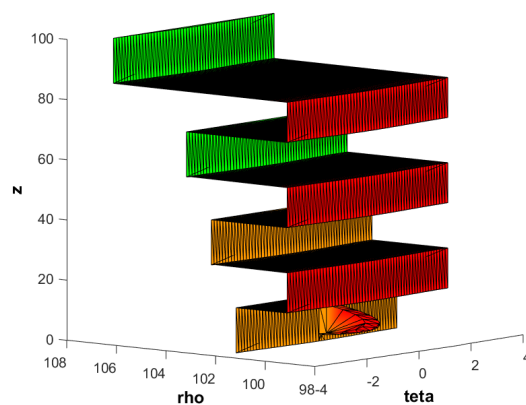


Figura 4.13: Representação final do pneu simulado com defeito em CP: Representação através de malha

4.3 Obtenção da NP através de fotogrametria

A obtenção das imagens para aplicação desta técnica deve ser feita com alguns cuidados, já mencionados antes. Verificou-se que no decorrer do trabalho, o tempo despendido na sessão de fotografia é significativamente menor do que a aquisição com o *scanner* de luz estruturada. Dado que o *software* utilizado em fotogrametria apenas aceita 50 imagens, foram tiradas fotografias ao pneu a cada 7°-10°, prefazendo (ou quase) as 50 imagens.

Um exemplo da construção do modelo pelo *software* 3DF Zephyr pode ser observado na figura 4.17.

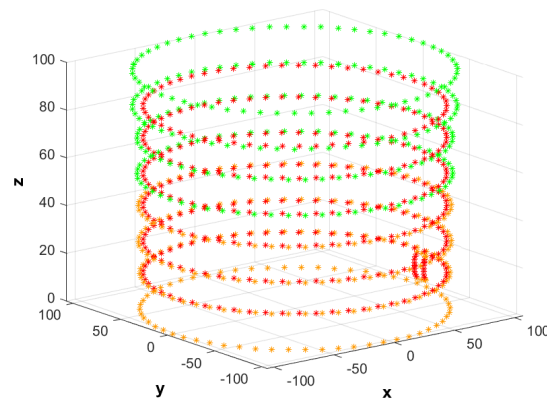


Figura 4.14: Representação final do pneu simulado com defeito em CC: Representação através de pontos

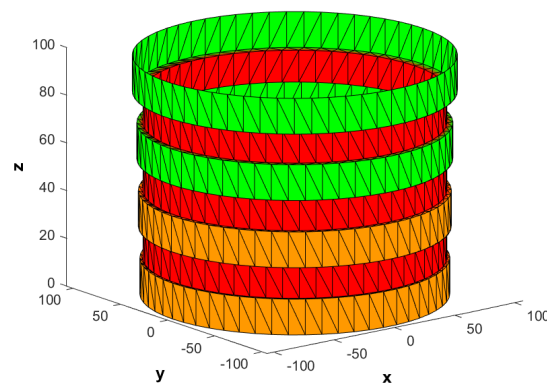


Figura 4.15: Representação final do pneu simulado com defeito em CC: Representação através de malha

Foi feita outra tentativa de mapeamento da superfície e esta foi bem sucedida, conseguindo construir o modelo nos seus 360°. Porém outro problema é detetado. Devido à qualidade, resolução e tamanho do objeto, este apresenta um ficheiro com uma NP na ordem dos 150 000 pontos, e sua malha associada. Para esta quantidade de pontos, a análise já começa a ser exigente em termos computacionais e não é o procurado neste trabalho.

O *software* oferece a possibilidade de dizimar a NP, e foi feita uma redução na ordem dos 50%. Uma imagem da reconstrução da NP e malha pode ser observada na figura 4.16, 4.17 e 4.18.

Ao efetuar esta minimização da NP o ficheiro ficou mais leve e foi possível exportar a NP e malha. Note-se que nesta versão gratuita, não é possível extrair diretamente os dados no formato *.stl*. Serão sempre extraídos em *.ply* que por sua vez com o auxílio do MeshLab

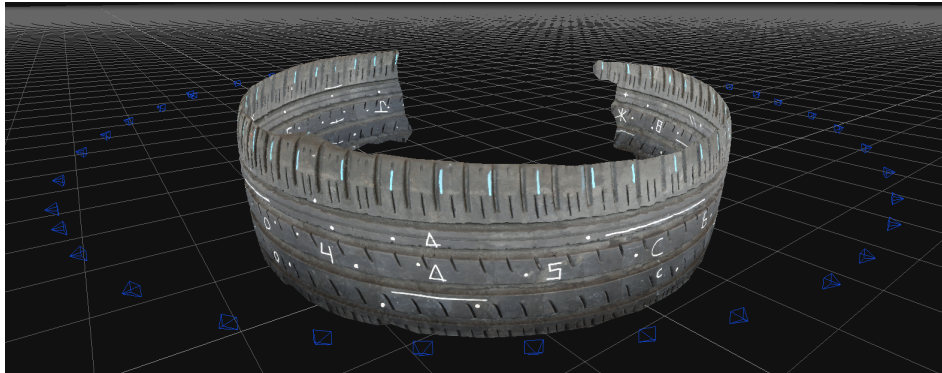


Figura 4.16: NP e malha produzida por fotogrametria (37 fotografias)

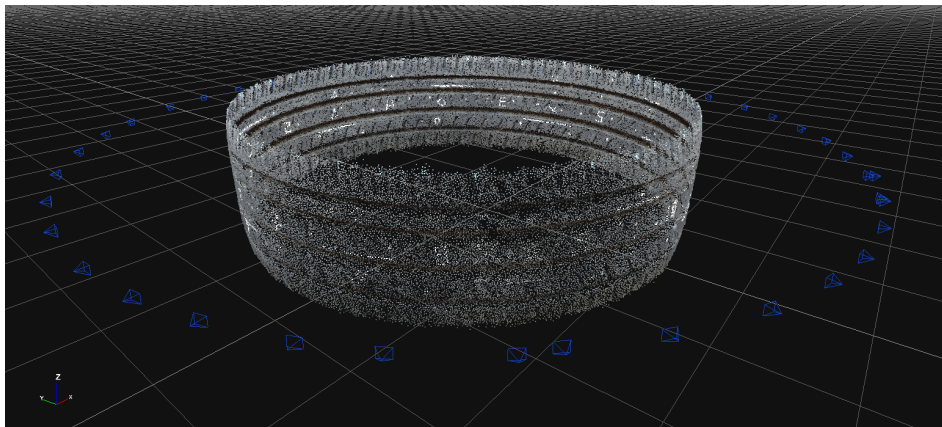


Figura 4.17: NP e malha produzida por fotogrametria (44 fotografias)



Figura 4.18: NP e malha produzida por fotogrametria (44 fotografias): pormenor

serão convertidos no tipo de ficheiro pretendido.

Ao fazer este processo descrito anteriormente o ficheiro continuou com o tamanho demasiado elevado para ser processado, não sendo possível apresentar resultados.

Foi feita então uma simplificação na NP usando o *Meshlab*, em que consiste em unir os vértices próximos, numa certa distancia. Foi feita esta unificação, passando de 491113 para 88865 pontos. Desta forma já foi possível processar a NP e conseguir resultados através do código *MatLab*. É possível observar nas figura 4.19 - 4.22 o resultado. Nota-se que o o eixo do pneu não está completamente alinhado com o eixo do sistema de coordenadas global. No entanto, o resultado é o esperado na medida que o pontos/malha a encarnado pertencem ao ponto mínimo do pneu. É de notar que as figuras 4.21 e 4.22 tornam a leitura mais perceptível na medida que se consegue visualizar a superfície no seu inteiro, e observar a evolução da superfície. É ainda deixado claro a classificação através de cores feita, podendo também ser um forma de avaliar rapidamente se a classificação está a ser bem feita.

4.3.1 *Softwares*

Como descrito acima, existem vários *softwares* que podem fazer o processamento de imagens, reconstruindo-as num modelo 3D. No decorrer do trabalho, foram explorados alguns deles no entanto o 3DF Zephyr destacou-se pela sua simples e intuitiva interface.

Dado que foi utilizada uma versão gratuita deste *software* este limita a reconstrução do modelo com 50 fotografias, o que se provou ser suficiente para este trabalho.

4.3.2 **Melhoramento da técnica**

Foram identificados alguns aspetos que melhoram a aquisição das imagens, são eles:

- Estabilizar a câmara e manter uma distância fixa ao objecto;
- Efetuar a aquisição de imagens num ambiente com luz difusa;
- Para garantir exatamente a mesma condição de luz, é preferível fixar a câmara e rodar o pneu;
- Ao fixar o pneu num apoio rotativo, este roda sobre si garantindo uma distância sempre constante a câmara;
- As marcações no pneu serem abundantes facilitando o processamento posterior das imagens.

4.4 **Obtenção da NP através de *scanner* de luz estruturada**

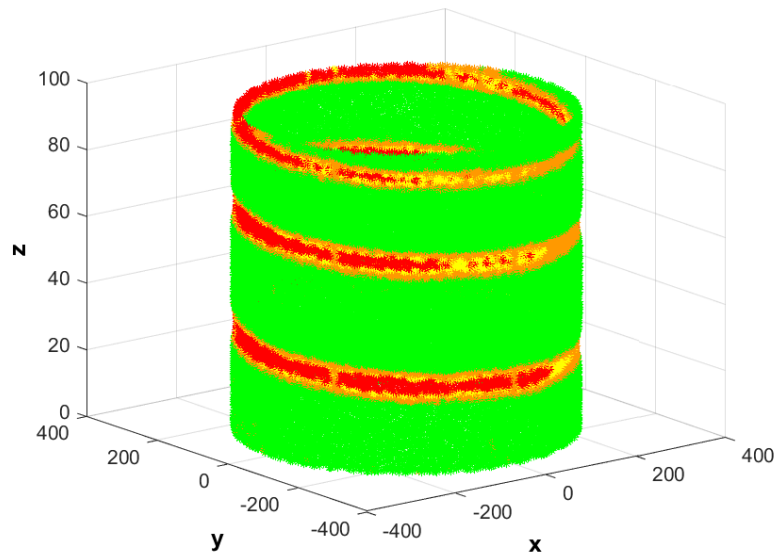


Figura 4.19: Resultado final com Fotogrametria: Pontos em CC

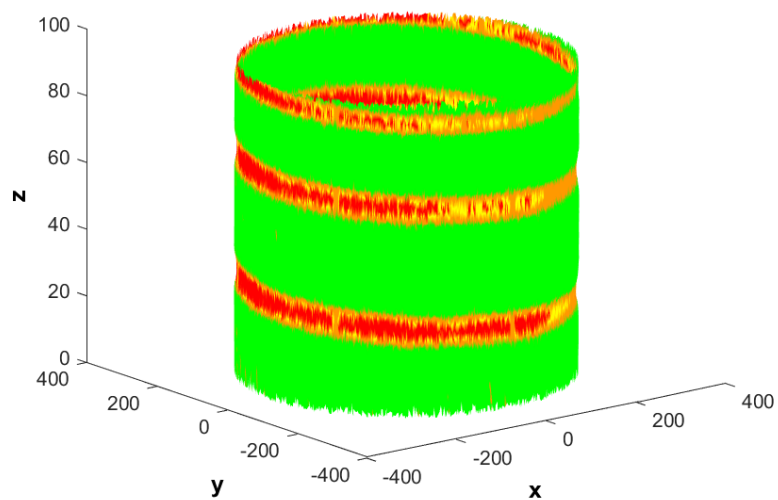


Figura 4.20: Resultado final com Fotogrametria: Malha em CC

Para a aquisição com recurso a um *scanner* de luz estrutura, foi utilizado o modelo EinScan-SE, figura 4.23 onde as propriedades do próprio aparelho podem ser consultadas

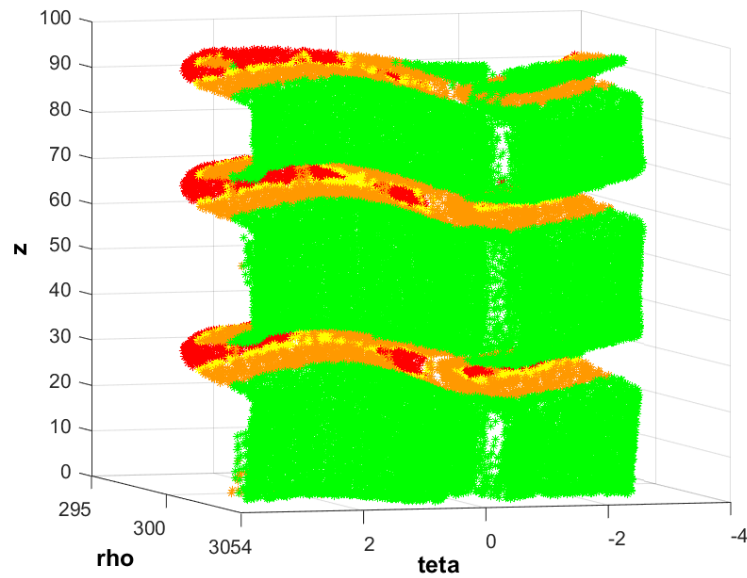


Figura 4.21: Resultado final com Fotogrametria: Pontos em CP

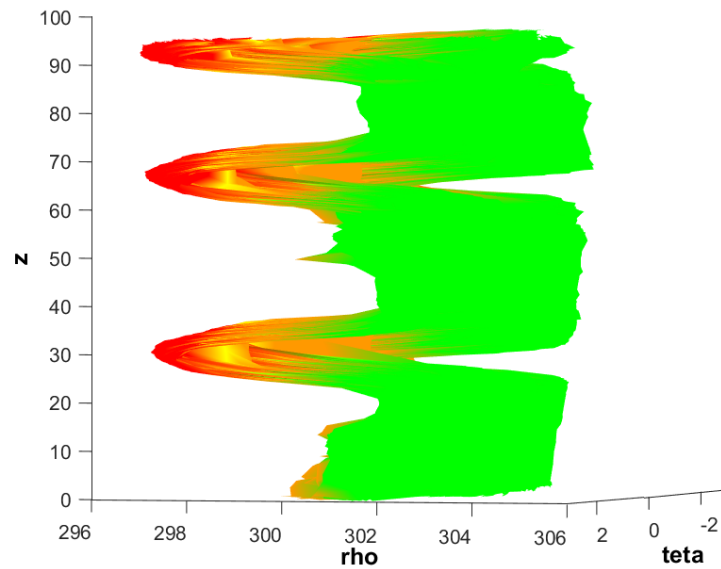


Figura 4.22: Resultado final com Fotogrametria: Malha em CP

na figura 4.24.

Apesar deste aparelho ser pequeno e portátil, o *scan* terá de ocorrer com o pneu desmontado, sendo que antes de cada sessão de aquisição de dados, este deve ser calibrado, levando essa operação alguns minutos. Note-se ainda que no decorrer da secção de aquisição, a cada



Figura 4.23: EinScan-SE

ângulo do objeto capturado, o tempo de operação também é de alguns minutos. Esta técnica também necessita das marcações mencionadas anteriormente e exemplificada na figura 3.2.

Foram efetuadas várias aquisições com recurso a este *scanner*, ainda sem o apoio rotativo, e o resultado, após o pneu estar com as devidas marcações (a giz), foi satisfatório, havendo apenas alguma dificuldade quando o programa tentava ligar o primeiro scan (0°) com o último (350° - 360°). Comparativamente à fotogrametria, esta técnica é mais morosa pois a cada *scan*, mesmo com as marcações a giz, foi necessário fazer um alinhamento manual das NP obtidas. O tempo total de operação de aquisição de dados é maior. Porém, como mencionado no capítulo 2, o processo de aquisição e processamento de dados está acoplado.

A NP (sem apoio móvel e com o tamanho de ficheiro de 33 881Kb) pode ser observada na figura 4.25 e 4.26.

Ao processar uma NP obtida por este equipamento obtiveram-se os resultados, que podem ser observados nas figuras 4.28 e 4.27.

Dado que o *scan* realizado não ficou com tão boa qualidade denota-se nos resultados apresentados o eixo do pneu não foi bem alinhado, inviabilizando a análise. No entanto é possível identificar o rastro do pneu. Como se pode notar pela cor azul, esta significa que existe um altura de rastro de mais de 8 mm. Existem pneus com esta altura mas não é o presente caso.

Com o auxílio do *software* GOM, foi possível fazer um alinhamento do eixo do pneu, sendo este nivelamento suficientemente próximo para realizar uma nova análise, com melhores resultados. Estes podem ser observados nas figuras 4.29 - 4.32.

Model	EinScan-SE	
Scan Mode	Fixed scan	Auto Scan
Mode of Alignment	Feature; Manual	Turntable; Manual
Single Shot Accuracy	≤0.1 mm	
Minimum Scan Volume	30 × 30 × 30 mm	
Maximum Scan Volume	700×700×700mm	200×200×200mm
Range of Single Capture	200×150 mm	
Scan Speed	<8 s	<2 mins
Point Distance	0.17 mm ~ 0.2 mm	
Texture	Yes	
File Format	OBJ, STL, ASC, PLY	
Camera Resolution	1.31 Mega Pixels	
Light Source	White Light	
Stand-off Distance	290 ~ 480 mm	
Computer Requirements	Nvidia series Graphic memory > 1G; 1 ×USB 2.0 or 3.0; Win7, Win8, Win10 (64 bit); Dual-core i5 or higher; > 8 G	
Weight (unpacked)	2.5 kg	
Weight (packed)	4.9 kg	
Dimension	570×210×210 mm	
Power Supply	40 w	
Input Voltage	DC: 12 v, 3.33 A	
Calibration Board	Standard	
Turntable	Standard	
Load Capacity of Turntable	5 kg	

Figura 4.24: Propriedades do EinScan-SE

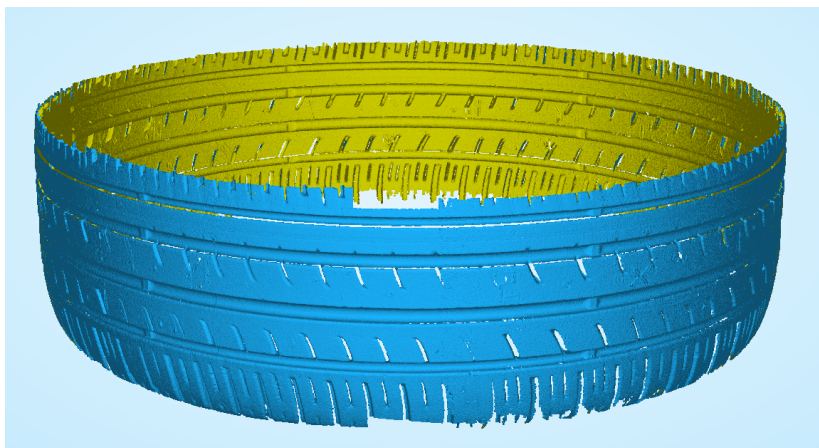


Figura 4.25: NP produzida por EinScan-SE

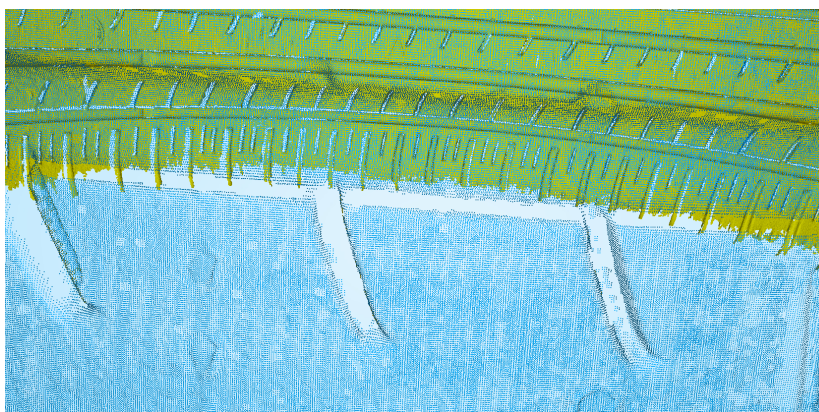


Figura 4.26: NP produzida por EinScan-SE: pormenor

4.5 Considerações finais

Entre as diferentes técnicas de aquisição e processamento de imagem, pode-se comparar o tamanho do ficheiro e número de pontos na NP, onde um pequeno resumo pode ser consultado na tabela 4.1. À primeira vista, pode-se fazer uma comparação visual dos resultados entre as técnicas descritas, sendo eles semelhantes. Não se pode fazer uma comparação direta pois para isso seria necessário: comparar a mesma secção do pneu; idealmente comparar dois resultados um numero de pontos semelhantes (que não é o caso).

Num segundo momento, nota-se que para uma primeira tentativa de análise a superfície do pneu, ambas as técnicas satisfazem o objetivo, podendo, obviamente haver melhoramentos no futuro. Estes, como o alinhamento do eixo axissimétrico do pneu com o eixo ZZ

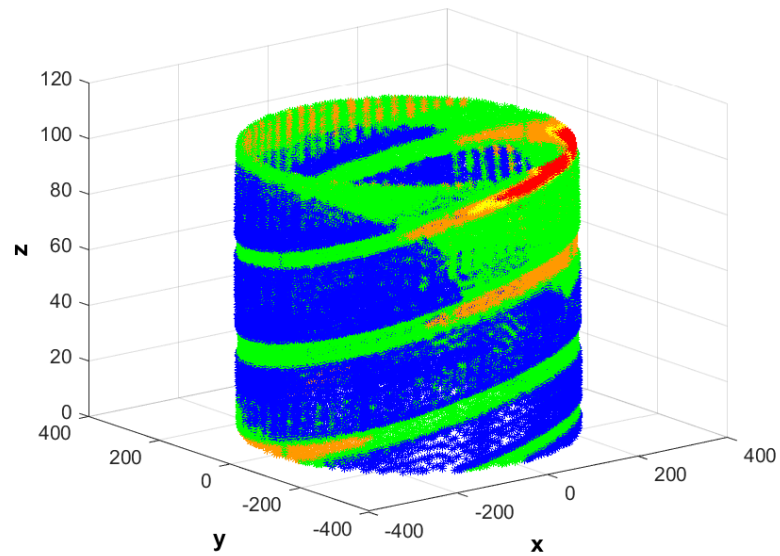


Figura 4.27: Resultado final com eixo desalinhado com EinScan-SE: Pontos em CC

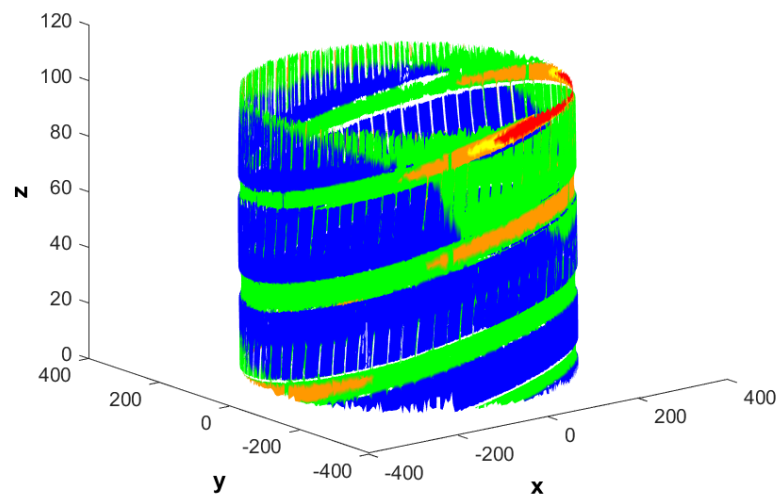


Figura 4.28: Resultado final com eixo desalinhado com EinScan-SE: Malha em CC

global, são melhoramentos comuns às duas técnicas.

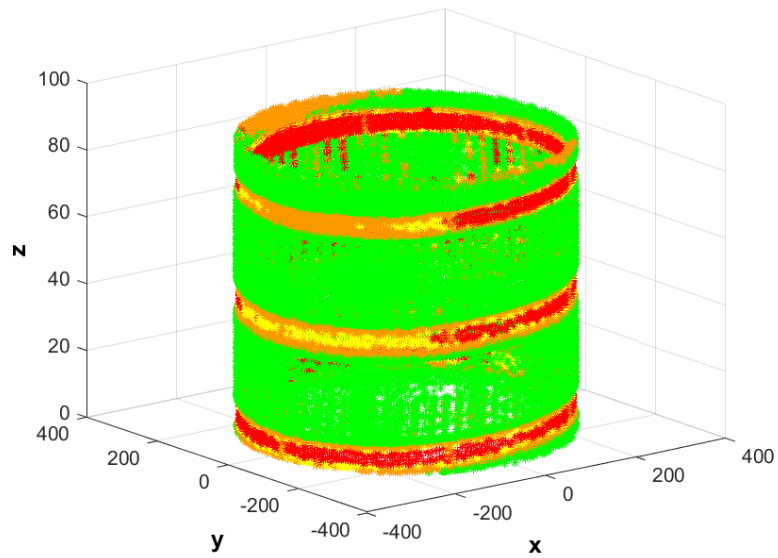


Figura 4.29: Resultado final com EinScan-SE: Pontos em CC

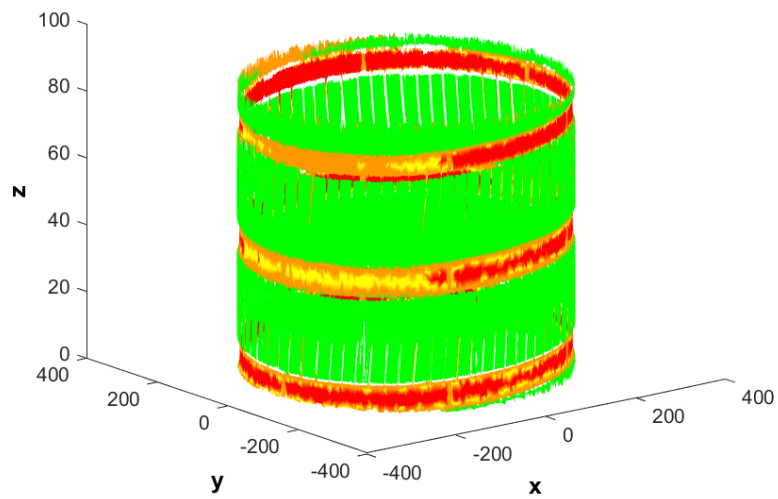


Figura 4.30: Resultado final com EinScan-SE: Malha em CC

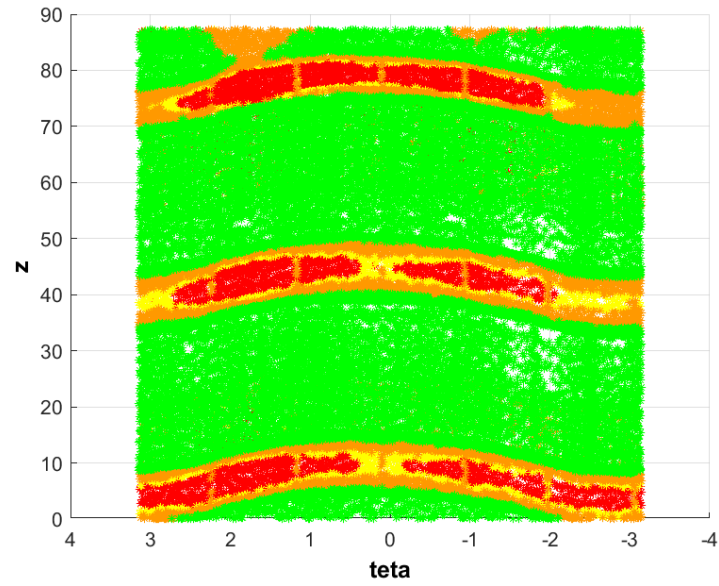


Figura 4.31: Resultado final com EinScan-SE: Pontos em CP

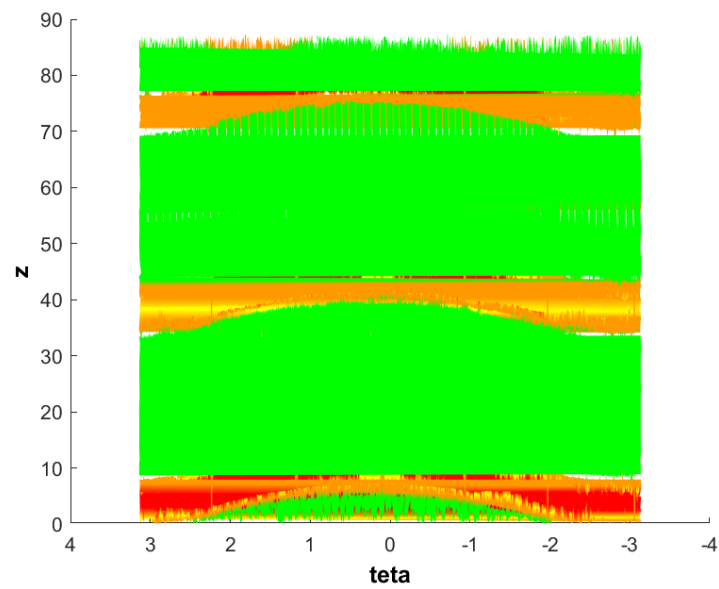


Figura 4.32: Resultado final com EinScan-SE: Malha em CP

	Scan Laser	Fotogrametria	Fotogrametria Simplificada
Numero de pontos	73349	491113	88865
Dimensão do ficheiro [Kb]	5840	47992	8693

Tabela 4.1: Resumo de resultados

5

Conclusões

Como objetivo proposto neste trabalho, seria de esperar um resultado final claro, rápido e simples da interpretar da condição superficial do pneu.

A aquisição e modelação 3D do objeto foi conseguida através das duas técnicas: fotogrametria e scanner de luz estruturada. A técnica de fotogrametria apresenta claras vantagens versus ao *scanner* de luz estruturada. Primeiramente a aquisição de imagens é independente do processamento e não são necessários conhecimentos específicos de fotografia, apenas ter alguns cuidados, de seguida é introduzir as mesmas no *software* para construção do modelo. Quanto ao *scanner*, o operador tem de em tempo contínuo fazer a aquisição e alinhar as NP no momento, sendo muito dispendioso a nível de tempo. No entanto, apresenta a vantagem de ter um *software* incorporado que para efeitos de pré-processamento e diminuição do volume de dados foi mais intuitivo.

Apesar das limitações e obstáculos foi possível retirar as seguintes conclusões:

- é possível aplicar uma estratégia simples para analisar a condição superficial do pneu.
- ao filtrar suficientemente a NP obtida por ambas as técnicas, é possível realizar a análise da condição de superfície do pneu em menos de 2 minutos.
- a técnica de fotogrametria revelou-se mais fácil de realizar, estando incluída também a rapidez de aquisição.
- em ambas as técnicas são necessários marcadores
- em ambas as técnicas existe a possibilidade de ser necessário realizar um alinhamento manual dos eixos posterior a aquisição.

Proposta de trabalhos futuros

Como proposta de desenvolvimentos futuros no seguimento deste tema, tem-se algumas sugestões, sendo elas:

- desenvolver mais o código que processa os dados;
- projetar a forma de captura, sincronizando o disparo da câmara e a rotação da mesa, em ambas as técnicas;

Bibliografia

- Jornal Oficial das Comunidades Europeias relativa à aproximação das legislações dos Estados-membros respeitantes à altura do relevo dos pneumáticos de certas categorias de veículos a motor e seus reboques Tendo em conta o Tratado que institui a Comunidade. page 1989, 1989. (cit. in p. 1)
- Continental. Tyre damage : Causes and avoidance. page 17, 2012. URL <https://blobs.continental-tires.com/www8/servlet/blob/834902/8c00eb0d22ea6730efccec1d67eee53d/tyre-damage--causes-and-avoidance-data.pdf>. (cit. in p. 8)
- H. E.-d. Fawzy. Study the accuracy of digital close range photogrammetry technique software as a measuring tool. *Alexandria Engineering Journal*, 2019. ISSN 1110-0168. doi: 10.1016/j.aej.2018.04.004. (cit. in p. 15)
- K. C. C. G.G. Liversidge J.F. Bishop, D.A. Czekai. United States Patent (19) 54, 1980. ISSN 2222222222. (cit. in p. 10)
- L. C. Gontard, R. Schierholz, S. Yu, J. Cintas, and R. E. Dunin-Borkowski. Photogrammetry of the three-dimensional shape and texture of a nanoscale particle using scanning electron microscopy and free software. *Ultramicroscopy*, 169:80–88, 2016. ISSN 18792723. doi: 10.1016/j.ultramic.2016.07.006. (cit. in p. 15)
- Heuver. What is the difference between radial tyres and diagonal tyres? URL <https://www.heuver.com/knowledge/otr/what-is-the-difference-between-radial-tyres-and-diagonal-tyres>. (cit. in p. 6)
- L. J. Heirtzler, Frank and W. S. Hill. (12) United States Patent, 2012. ISSN 3723429343. (cit. in p. 10)
- A. J. Yovichin. Hamm- It trul Illinistrict, 1994. (cit. in p. 10)
- J. Kai, W. Yen, S. Yen, and Huang. Measuring Tread Depth with Light-spot Analysis. 127(4): 5–9, 2017. (cit. in p. 11)

- A. E. Kenarsari, S. J. Vitton, and J. E. Beard. ScienceDirect Creating 3D models of tractor tire footprints using close-range digital photogrammetry. *Journal of Terramechanics*, 74:1–11, 2017. ISSN 0022-4898. doi: 10.1016/j.jterra.2017.06.001. (cit. in p. 16)
- K. Kim. Non-Destructive Evaluation of Separation and Void Defect of a Pneumatic Tire by Speckle Shearing Interferometry. 18(9):1493–1499, 2004. (cit. in p. 10)
- A. León, J. Medina, and N. Castro. Low cost 3D scanner by means of a 1D optical distance sensor. *Journal of Materials Processing Tech.*, 7:223–230, 2013. ISSN 2212-0173. doi: 10.1016/j.protcy.2013.04.028. (cit. in p. 14)
- Michelin. Radial or bias tyres? URL <https://www.michelin.com.au/motorbike/tips-and-advice/help-me-choose-the-right-tyre/radial-or-bias>. (cit. in p. 6)
- MPC. How to Implement a Fleet Preventive Maintenance Plan. URL <https://www.mpofcinci.com/blog/fleet-preventive-maintenance-plan/>. (cit. in p. 7)
- M. Pesce, L. M. Galantucci, G. Percoco, and F. Lavecchia. 3rd CIRP Global Web Conference A low-cost multi camera 3D scanning system for quality measurement of non-static subjects. *Procedia CIRP*, 28:88–93, 2015. ISSN 2212-8271. doi: 10.1016/j.procir.2015.04.015. (cit. in p. 15)
- STTC. PREVENTATIVE TRUCK TIRE MAINTENANCE. URL <https://www.sttc.com/tires/new-tires/commercial-truck-tires/preventative-tire-maintenance/>. (cit. in p. 7)
- J. Yamauchi and P. E.-j. L. Schofer. United States Patent (19) Ho-o bM, 1986. (cit. in p. 10)