

Modelação Bayesiana das datações de radiocarbono de Castelo Velho de Freixo de Numão

Gonçalo Leite-Velho

Instituto de História Contemporânea, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade NOVA de Lisboa / IN2PAST — Laboratório Associado para a Investigação e Inovação em Património, Artes, Sustentabilidade e Território; Instituto Politécnico de Tomar. E-mail: gonvelho@ipt.pt

Recebido: 17-9-2021. Publicado: 30-11-2021

Abstract:

The results of a bayesian modelling of the radiocarbon dates collected at the archeological site of Castelo Velho de Freixo de Numão (Vila Nova de Foz Côa, Guarda, Portugal) is presented. This analysis follows the methodology developed for a refinement of archaeological sites chronological dating through radiocarbon (Bayliss, Ramsey, et al., 2007; Bayliss & Ramsey, 2004) The objective was to contribute to a better understanding of the site's pre-historic occupation chronology. The methodology applied narrowed the contexts of the radiocarbon samples contexts, from a simple stratigraphical perspective to a contextual approach. Through the recovery of the archaeological record information available, a Harris matrix was produced. This matrix allowed for a more refined definition of the radiocarbon samples contexts and its relations. These relations were then used to attempt a more refined calibration of the radiocarbon dates, using a Bayesian statistic approach. A model for a refined chronological dating of the prehistoric architecture of the site was also developed. The results point to the precision difficulty of radiocarbon dating. These impediments jeopardize the possibility of the research to reach "socially usable contemporaneities" (Jorge et al., 2007) and the comprehension of the architectural development of the prehistoric occupation of this site.

Keywords: Castelo Velho; Freixo de Numão; bayesian; radiocarbon

Resumo:

São apresentados os resultados de uma modelação bayesiana das datas de radiocarbono recolhidas no sítio arqueológico de Castelo Velho de Freixo de Numão (Vila Nova de Foz Côa, Guarda, Portugal). Esta análise segue a metodologia desenvolvida para um refinamento da datação cronológica por radiocarbono de sítios arqueológicos (Bayliss, Ramsey, et al., 2007; Bayliss & Ramsey, 2004). O objetivo foi contribuir para uma melhor compreensão da cronologia de ocupação pré-histórica do local. A metodologia aplicada estreitou os contextos das amostras de radiocarbono, de uma simples perspectiva estratigráfica para uma abordagem contextual. Através da recuperação das informações do registo arqueológico disponível, foi produzida uma matriz de Harris. Essa matriz permitiu uma definição mais refinada dos contextos das amostras de radiocarbono e das suas relações. Essas relações foram então usadas para tentar uma calibração mais refinada das datas de radiocarbono, usando uma abordagem estatística Bayesiana. Foi também desenvolvido um modelo para procurar construir uma cronologia do desenvolvimento arquitetónico da ocupação pré-histórica. Os resultados apontam para os problemas de precisão da datação por radiocarbono. Estes entraves comprometem a possibilidade da investigação alcançar "contemporaneidades socialmente utilizáveis" (Jorge et al., 2007), bem como uma compreensão mais fina do desenvolvimento arquitetónico da ocupação pré-histórica deste sítio.

Palavras-chave: Castelo Velho; Freixo de Numão; bayesiano; radiocarbono

1. INTRODUÇÃO

Castelo Velho de Freixo de Numão é um lugar arqueológico no norte de Portugal (Freixo de Numão, Vila Nova de Foz Côa, Guarda), com registo de ocupação pré-histórica no 3.º e 2.º milénio a.C., período durante o qual foram erigidas um conjunto de arquiteturas, que incluem a composição de um recinto murado. O lugar foi escavado entre 1989 e 2005, em trabalhos coordenados por Susana Soares Lopes, sendo aberto ao público em 2007, após trabalhos de musealização.

O estudo deste lugar possui particular importância no estudo da pré-história, tendo contribuído para uma viragem de paradigma na interpretação de recintos semelhantes, datados em cronologias análogas na Península Ibérica. A proposta introduzida por Susana Soares Lopes em 1994, de interpretação como "lugares monumentalizados", produziu uma alternativa (senão mesmo rutura) à consideração até então habitual como "povoados fortificados" (Jorge, 1994). Para além desta mudança de perspectiva, o lugar permitiu o desenvolvimento de vários trabalhos

de investigação, relativos a temáticas como a arquitetura, os artefactos cerâmicos e líticos, a paleo-vegetação, bem como de desenvolvimento teórico e interpretativo. Essa investigação conjugou-se como uma verdadeira escola, sendo que do seu enquadramento académico resultaram diversas teses de mestrado e uma de doutoramento.

Pese embora a alternativa concetual interpretativa se mantenha como um dos aspetos mais relevantes do trabalho de investigação (e com maior impacto), levando a que se produzisse atenção para o tema das arquiteturas pré-históricas, a investigação salientou também o problema de desenvolvimento de cronologias de ocupação, que permitam compreender como o lugar foi vivido. Face a essas dificuldades, constatou-se a partir de 2003 que:

“(…) não podemos aceder a contemporaneidades socialmente usáveis, por forma a construir narrativas de nível médio. Pode-se falar de vidas do sítio, de momentos, de espaços, de deposições, de condenações, em suma, de transformações. Podemos tão só, abrir “janelas” sobre algumas ações vividas em Castelo Velho.” (Jorge et al., 2007, p. 79)

Esta problemática manteve-se como um eixo fundamental da investigação, em que a inteligibilidade do passado se interliga com a possibilidade de compreender a sua temporalidade. A pertinência dessa investigação demonstra-se pela importância que lhe é dada em trabalhos recentes (S. Lopes & Bettencourt, 2017; S. S. Lopes, 2019), bem como a relação especial da investigadora que mais tempo dedicou a este lugar, com esta problemática.

Os últimos desenvolvimentos partem de uma aproximação teórico-metodológica baseada na identificação de continuidades e discontinuidades, estudadas a partir da relação entre ações e datações, que enfatiza a discontinuidade das práticas entre o 3.º e o 2.º milénio (S. Lopes & Bettencourt, 2017; S. S. Lopes, 2019; Soares Lopes & Gomes, 2021). Esta aproximação ultrapassa o marco histórico-cronológico da periodização do sistema de 3 Idades de

Thomsen (no caso aplicado à transição “Calcolítico” para “Idade do Bronze”), propondo, em alternativa, uma circunscrição cronológica expressa de forma meramente cronológica. Perante datas expressas numericamente e numa época em que o sistema cronológico vigente privilegia as décadas, os séculos e os milénios, esta abordagem é a que mais facilmente permite identificar as continuidades e discontinuidades observadas no registo arqueológico, lidando-se assim o problema da periodização naquilo que se encontra “à mão” (os milénios). O problema da identificação das periodizações é assim resolvido através da abrangência, concentrando-se em verificar grandes continuidades e rupturas.

Parte importante do problema da periodização da ocupação pré-histórica do lugar advém da precisão das datações por radiocarbono, dado que após calibradas apresentam um intervalo com vários séculos¹. Essa dispersão coloca problemas na compreensão de contemporaneidades de ocupação, que se traduzem na solução por periodizações mais largas e generalizantes.

Para fazer face a este problema aplicámos uma metodologia, que combina a calibração das datações de radiocarbono com a estatística bayesiana. Essa aplicação tem demonstrado alguns resultados na melhoria da precisão da calibração das datações de radiocarbono, sendo uma ferramenta particularmente útil, para conseguir alcançar contemporaneidades e diacronias numa escala mais fina.

Começamos por expor a metodologia de articulação da inferência bayesiana com a calibração de datas de radiocarbono. Trata-se de uma apresentação que elenca quer a base da estatística aplicada, o programa de computador utilizado, os métodos que disponibiliza e como trabalham em articulação com a informação detalhada dos contextos estratigráficos. Na secção seguinte expomos como esta metodologia foi aplicada às datações de radiocarbono de Castelo

1 A fiabilidade de algumas datações lança também problemas, dado que algumas apresentam dispersões a 2σ abaixo dos 90% (com valores como 72,1%).

Velho. Começamos por apresentar os desafios colocados por um registo arqueológico baseado no paradigma estratigráfico e a necessidade de uma aproximação mais contextual. Apresentamos as vantagens da construção de uma matriz de Harris e a sua relação com esta aproximação mais contextual. De seguida, construímos essa matriz, a partir das informações produzidas ao longo da escavação arqueológica, identificando diversas unidades estratigráficas, com especial atenção àquelas onde foram recolhidas as amostras de radiocarbono. Por fim, demonstramos como codificámos esta informação, inserindo-a no programa de computador.

No final, apresentamos os resultados desta aproximação, demonstrando-se problemas semelhantes ao já registados noutros lugares arqueológicos com ocupações mais longas.

2. A INFERÊNCIA BAYESIANA E A CALIBRAÇÃO DE DATAS DE C14

A utilização da estatística bayesiana em arqueologia pode ser variada e diversificada (C. E. Buck et al., 1996). Uma das suas primeiras aplicações, e que continua a ser aquela com mais sucesso, é a calibração e análise de datas de radiocarbono.

O método bayesiano deriva das ideias desenvolvidas pelo reverendo Thomas Bayes no século XVIII. Trata-se de uma aproximação por inferência estatística (probabilística) que pode ser sumariada pelo seguinte teorema:

$$p(x|\theta) = \frac{(p(x|\theta)p(\theta))}{(p(x))}$$

ou seja

$$p(\text{parametros} | \text{dados}) = \frac{p(\text{dados} | \text{parametros})p(\text{parametros})}{(p(\text{dados}))}$$

ou seja

Distribuição a posteriori = distribuição a priori x verossimilhança

Em vez de possuímos as frequências ou proporções

utilizadas pela estatística clássica, utilizamos antes graus de possibilidade, ou seja, a probabilidade. O seu uso encontra-se particularmente indicado para uma aproximação probabilística que não tome os valores como absolutos. A inferência bayesiana calcula o grau de probabilidade de uma hipótese antes da comprovação ser observada e calcula uma estimativa numérica do grau de probabilidade de que a hipótese após a comprovação tenha sido observada. As aplicações deste tipo de inferência são as mais diversas, passando por campos como a Medicina, a Física ou a Engenharia (com particular destaque para a Engenharia da Qualidade e a Metrologia).

No caso da arqueologia existem também aplicações diversas. Uma das primeiras aplicações deste método foi, justamente, o tratamento da informação probabilística resultante da calibração de datas de C14 (Naylor & Smith, 1988). A sua aplicação veio a ser desenvolvida de modo a combinar a informação cronológica de diferentes fontes, com particular destaque para a estratigrafia e o reconhecimento de fases. Segundo um trabalho de referência, desenvolvido pela equipa da Universidade de Nottingham, existiriam cinco aplicações fundamentais em termos da aplicação de inferência bayesiana à calibração de datas (C. E. Buck et al., 1991, p. 812):

Calibração (expressar uma data de radiocarbono numa distribuição, com a indicação de datas de calendário, apresentadas de um modo compreensível)

Calibração com termini (introdução de informação histórica ou arqueológica que imponha terminus ante quem ou terminus post quem para as datas)

Calibração múltipla (calibração de um conjunto de determinações de radiocarbono onde a informação a priori, geralmente a estratificação, indique possibilidades estreitas: “a segunda data pode ser contemporânea ou posterior, mas não pode ser anterior à primeira”)

Calibração com ordenação (calibração em que o registo arqueológico imponha alguma ordem (mesmo que parcial) às datas, tal como uma sequência (parcialmente) estratificada.)

Calibração com faseamento (estimativa das datas de início e fim de uma série de fases arqueológicas, que sejam reconhecidas como contíguas e consecutivas, e para as quais se possui uma ou mais determinações de radiocarbono).

Mais tarde, foram ainda definidas outras formas de aplicação, incluindo a inclusão da informação a priori sobre o ritmo de deposição, a inclusão da informação a priori sobre o tempo entre deposições (ou a inclusão do conhecimento a priori do tempo entre duas amostras, no processo conhecido geralmente como ‘wiggle matching’), a deteção de ‘outliers’, a seleção de amostras, e a escolha de modelos quer em termos de cronologias relativas como cronologias absolutas (C. E. Buck, 2004a).

O campo da aplicação de estatística bayesiana à criação de cronologias relativas passou a oferecer uma alternativa interessante aos métodos de seriação (C. E. Buck & Sahu, 2000). A aplicação dos métodos bayesianos à calibração e análise cronológica para efeitos arqueológicos segue essencialmente cinco passos básicos fundamentais (Litton & Leese, 1990):

- a) Definição do problema arqueológico;
- b) desenvolvimento de um modelo estatístico baseado em (a) e na informação de radiocarbono apropriada;
- c) aferição, seguindo (a) e (b), de qual a informação arqueológica substancial, traduzida para o contexto do modelo estatístico, que deve ser incluída na análise;
- d) seleção dos procedimentos de inferência estatística adequados;
- e) interpretação dos resultados de (d) com referência aos problemas definidos em (a).

Trata-se de uma metodologia em que se estabelece uma profunda relação entre a calibração das datas de radiocarbono e o registo arqueológico. Contudo esta relação depende em muito da consistência de

ambos, sobretudo da correta compreensão da relação estratigráfica (quando esta assume contornos passíveis de serem concordantes com os de uma seriação cronológica).

O método tem vindo a dar azo a uma sequência de artigos por parte de alguns dos autores que lhe deram origem e onde se desenvolvem os aspetos mais técnicos do método, bem como várias considerações sobre os princípios estatísticos utilizados (C. Buck et al., 2007; C. E. Buck, 2004b; C. E. Buck et al., 1991, 1994a, 1994b). Apesar da sua aplicação, esta metodologia não está isenta de críticas, as quais seguem princípios sobretudo pragmáticos, salientando-se a questão dos conhecimentos avançados que exige este tipo de aproximações (Reece, 1994). De igual modo existem algumas chamadas de atenção relativas a certos problemas, dado que uma aplicação inadequada pode gerar resultados bastante diferentes do esperado, com uma ampliação dos intervalos de duração (Steier & Rom, 2000).

Pese embora estas críticas, o método bayesiano tem vindo a ser cada vez mais utilizado, beneficiando da sua integração em vários programas de computador distribuídos livremente na Internet (sobretudo a partir de meados dos anos 90). Um dos primeiros programas a incorporar esta aproximação foi o pacote CALIB (Stuiver & Reimer, 1986). Embora essa integração não estivesse expressa no programa, o certo é que o método de calibração utilizado para cada data seguia um algoritmo bayesiano (C. E. Buck et al., 1991). Posteriormente, foram produzidos vários programas, que permitem a calibração das datas, alguns dos quais realizam a própria operação online sem qualquer necessidade de instalação do software. Entre os mais utilizados constam o DataLab (Jones & Nicholls, 2002), o BCal (C. E. Buck et al., 1999) e o OxCal.

Neste trabalho, optámos pela utilização do Oxcal. O programa destaca-se por oferecer um interface mais intuitivo e que se encontra amplamente documentado (Ramsey, 1995, 2001), permitindo um vasto leque

de operações, que incluem a calibração simples (de uma data, ou de várias datas uma a uma), o “wiggle matching” (combinação de datas com um intervalo de tempo conhecido, como por exemplo duas amostras retiradas de dois anéis diferentes de um carvão vegetal), o estabelecimento de terminus, a definição de uma estratégia de datação através de simulação de datas, o cálculo do faseamento (com a determinação de fronteiras para o início e fim de cada fase, bem como do intervalo de duração), entre muitas outras possibilidades. Apesar da programação ser realizada por uma linguagem nativa do OxCal, o programa oferece interfaces diversos, que permitem controlar quer a calibração, quer a análise pretendida. Assim, não é necessário que o utilizador conheça em detalhe a linguagem de programação, embora esse seja um requisito necessário à compreensão da sintaxe adequada ao tipo de função que se deseja realizar. Este programa tem-se também vindo a revelar particularmente eficaz na construção de cronologias finas, com particular destaque para as sequências construtivas (veja-se a esse propósito Bayliss, McAvoy, et al., 2007). A sua utilização foi adotada (e é indicada) por parte do English Heritage (Bayliss & Ramsey, 2004), sobretudo para a construção de cronologias conjugando datações e registos de campo.

As funcionalidades disponíveis no programa Oxcal articulam-se também com práticas em voga no processo arqueológico, destacando-se a forte ligação com a matriz de Harris. A aplicação desta matriz permite melhores resultados na contextualização das amostras, afinando o processo de calibração.

Como é do conhecimento comum, a matriz de Harris é um diagrama desenvolvido pelo arqueólogo Edward Cecil Harris nos anos 70 para facilitar a compreensão do registo arqueológico. Ela parte de quatro princípios (Leis) fundamentais (Harris, 1979, pp. 112–113):

- Princípio da sobreposição - numa sequência de camadas (dispostas conforme a sua

criação inicial) as unidades superiores serão mais recentes e as inferiores mais antigas.

- Princípio da horizontalidade original - qualquer camada arqueológica depositada de uma forma não consolidada tenderá para uma disposição horizontal.
- Princípio da continuidade original - um depósito é cercado por uma bacia de deposição, ou terminará num extremidade cada vez mais fina. Caso haja uma exposição em perfil, tal significa que a sequência terá sido cortada, devendo-se ou ao processo de erosão ou a escavação (daí a designação deste perfil como corte).
- Princípio da sucessão estratigráfica - Uma unidade estratigráfica posiciona-se na sequência estratigráfica de uma estação pela sua posição entre a camada mais abaixo as que lhe são superiores e a camada mais acima das que lhe são inferiores e com as quais possui contacto físico. Todas as demais relações com outras unidades tornam-se assim redundantes.

Através deste diagrama constrói-se uma visão sequencial do lugar com a qual se relacionará a sequência cronológica.

O programa Oxcal tenta emular esta aproximação. Para tal utiliza três comandos principais: Sequence (sequência), Phase (fase) e Boundary (fronteira). O comando Sequence reúne os elementos numa ordem sequencial, aplicando assim os princípios da Sobreposição e da Sucessão estratigráfica. O comando *Phase* agrupa os elementos sem indicar uma relação fixa entre eles (identificando assim unidades e conjuntos de análise). O comando *Boundary* (introduzido em versões mais recentes do programa) estabelece as fronteiras cronológicas, permitindo obter limites para cada período (sendo que se trata de fronteiras, logo elementos permeáveis, estabelecidos através de um intervalo de probabilidades).

O modelo é calculado segundo o método Monte

Carlo via Cadeias Markov (MCMC) numa mistura de Amostragem de Gibbs e algoritmo Metropolis-Hastings (Ramsey, 2001). Trata-se de um desenvolvimento face à técnica original que aplicava o algoritmo Amostragem de Gibbs (Ramsey, 1995). A grande vantagem na utilização de um processo do tipo MCMC é que o processo se torna iterativo (ao longo do cálculo existe uma verificação e ajustamento progressivo do modelo aos dados).

A utilização do método misto veio a permitir que os cálculos se realizassem num menor intervalo de tempo (dado que a convergência pode ser alcançada mais rapidamente). Esta questão torna-se particularmente notória quando comparamos a geração de modelos com o OxCal e com o BCal, com vantagem para o primeiro. Dado que o segundo permite uma maior afinação dos parâmetros utilizados no MCMC, ficamos mais expostos ao conhecimento de estatística para manipular corretamente estes valores, bem como a uma maior repetição da modelação devido a erros de convergência.

Duas medidas são utilizadas informando-nos sobre a fiabilidade e a estabilidade do modelo. A fiabilidade é medida por um índice de concordância, sendo que o modelo é não fiável se estiver abaixo de 60%, sendo tanto ou mais fiável quanto ultrapassar este valor. Este valor é calculado para cada data, sendo indicado na tabela de resultados, bem como na representação em gráficos de distribuição. Este valor é também calculado para todo o modelo a partir dos índices de concordância individuais (representado como (Aoverall) (Ramsey, 1995, p. 429).

Para o cálculo destes índices segue-se a fórmula:

$$A = \frac{p^{(t)} p^{(t)} dt}{p^{(t)} p^{(t)} dt}$$

Onde $p(t)$ representa a distribuição a priori, $p'(t)$ a distribuição a posteriori.

O índice de concordância geral é obtido através de:

$$A_{overall} = \left[\prod_{i=1}^n A_i \right]^{1/(\sqrt{n})}$$

O programa constrói ainda um teste de convergência, calculado como:

$$C = \frac{(p(t)P(t)dt)^2}{P^2(t)dtP^2(t)dt}$$

Este último, demonstra-nos a rapidez com que o algoritmo MCMC conseguiu produzir uma solução estável e representativa do modelo. Na prática um modelo que apresente valores menores do que 95% em termos de concordância será instável e como tal os seus resultados não devem ser utilizados.

Os resultados são apresentados em tabela, podendo ser representados em gráficos individuais (cada data, cada soma, cada fronteira), ou numa listagem que englobe todo o conjunto calculado. No final possuímos não só a calibração das datas, mas uma aplicação de carácter bayesiano relativamente à sequência cronológica do lugar e a sua relação com a estratigrafia observada. Não é, no entanto, obrigatório que a periodização e o agrupamento em unidades se restrinjam à análise estratigráfica, apesar de ter sido este o desenvolvimento inicial do programa conforme Bronk Romsey (Ramsey, 1995, p. 426)

3. CONSTRUÇÃO DO MODELO DAS DATAÇÕES DE CASTELO VELHO

O primeiro passo necessário para o desenvolvimento do modelo de afinação bayesiana das datações de Castelo Velho de Freixo de Numão, passou por construir uma matriz de Harris, que contextualizasse as amostras utilizadas na datação por radiocarbono. A informação utilizada partiu dos desenhos de cortes disponíveis na bibliografia, sendo também incluído um corte inédito (identificado como corte 6), que foi disponibilizado pela coordenadora das escavações².

2 Agradecemos a Susana Soares Lopes a disponibilização desta informação.

Na Fig. 1, apresentamos a localização dos cortes utilizados para a contextualização estratigráfica das amostras de radiocarbono.

A matriz foi elaborada corte a corte, sendo que em cada corte foi testada a coerência da relação entre as datas e o contexto estratigráfico.

Relativamente ao corte 1 (Fig. 2), os resultados produzidos pelo OxCal apresentaram, inicialmente, um valor de concordância extremamente baixo. Isto deveu-se a duas datas (ICEN 1166 e ICEN 1165), que

apresentavam anomalias nos valores de concordância individual, respetivamente de 0,3% e 5,8%. A bibliografia permitiu compreender o contexto em que estas datas foram encontradas (informação publicada em S. Oliveira Jorge, 2002). A data ICEN 1166 tinha sido recolhida numa área de combustão, localizada na camada 4, no quadrado I'7. O seu desfasamento face às outras duas datas recolhidas para esta unidade, indicia a hipótese de uma intrusão. A data ICEN 1165 também apresentava um desfasamento

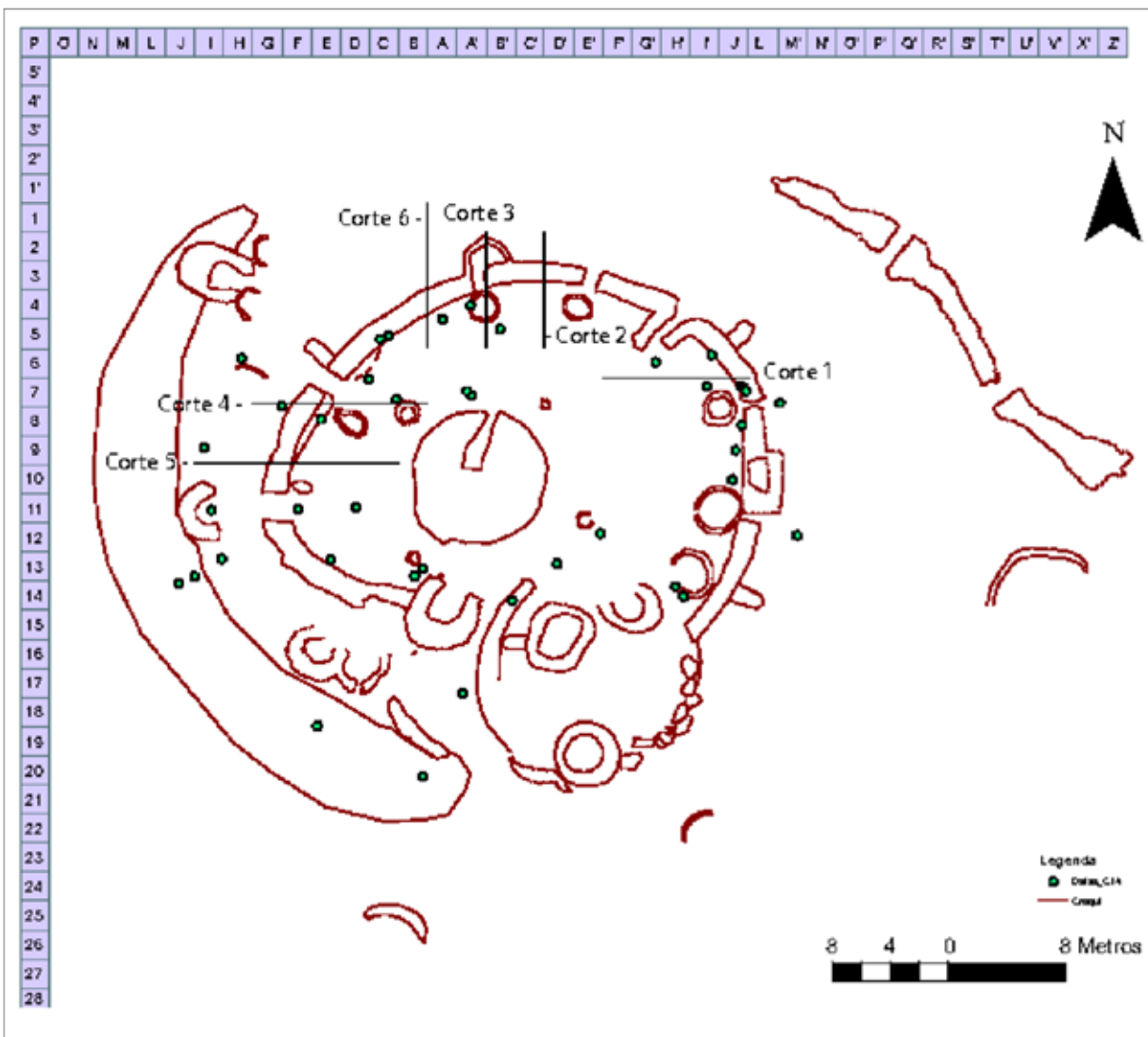


Figura 1 – Localização em planta dos cortes utilizados para a construção da matriz de Harris

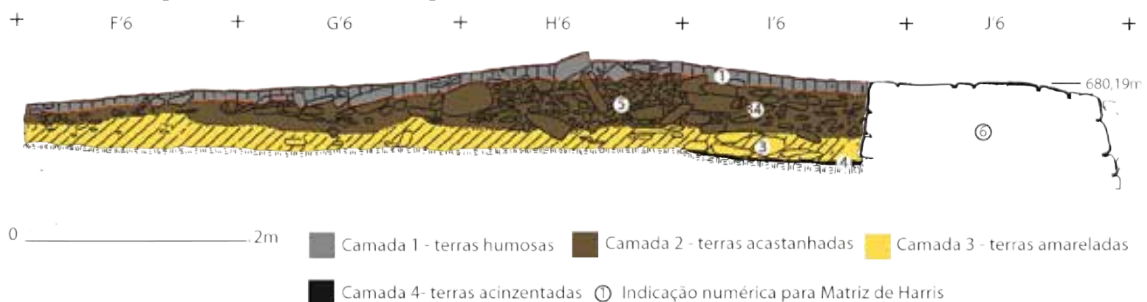


Figura 2 - Representação do Corte 1 (adaptado de S. Oliveira Jorge 1993)

com as demais datações da sua unidade. Embora a articulação entre as restantes datações seja mais fraca do que as da unidade 4, elas apresentavam valores relativamente semelhantes entre si. Seria possível procurar articular a amostra ICEN 1165 com a unidade 4, dada a proximidade espacial. Ela encontrava-se referenciada como estando na base da unidade 3 a cerca de 50cm de profundidade. Contudo, verificava-se um desfasamento com as demais datações. Como tal, apenas foram consideradas para a datação da unidade 3, as datas ICEN 1164, ICEN 1170 e ICEN 1168.

Uma vez retiradas as datas com desfasamento, o modelo relativo ao corte 1 apresentava um nível de coerência elevado (vide Tabela 1). O valor de concordância geral foi de 113,2%, não se verificando qualquer indicação de erro para as datações, em relação à sua concordância com o modelo geral. Contudo e apesar destes níveis, os valores calibrados possuíam ainda uma amplitude demasiado elevada. Esta diferença deriva da margem de erro da análise, com valores superiores a 100 anos.

O corte 2 não possuía nenhuma datação no seu en-

fiamento, não sendo, por isso, incluído no modelo. No espaço do corte 3 (Fig. 3) registavam-se duas datações: ICEN 785 e ICEN 535. A primeira encontrava-se referenciada como camada 3; logo, foi incluída na unidade estratigráfica 10. A segunda encontrava-se referenciada como camada 4, mas no corte deste local não existia indicação para a presença desta camada. Essa informação constava, no entanto, de um outro corte, identificado como corte 6. Assim sendo a segunda data foi incluída no interior da unidade estratigráfica 31, referente ao corte 6. A calibração pelo programa demonstrou que as datações apresentavam uma relação coerente com a informação estratigráfica, com valores elevados nos índices de concordância.

O corte 6 (Fig. 4) possuía apenas uma data no seu enfiamento (ICEN 536). Essa amostra estava inserida na unidade 30. Ela conjugava-se bem com a data ICEN 785, sendo as duas datações conjugadas.

A modelização conjunta dos cortes 3 e 6 apresentou valores de concordância elevados (vide Tabela 4).

O corte 4 (Fig. 5) abrangia datações no interior e exterior do recinto. Na sua área de abrangência identi-

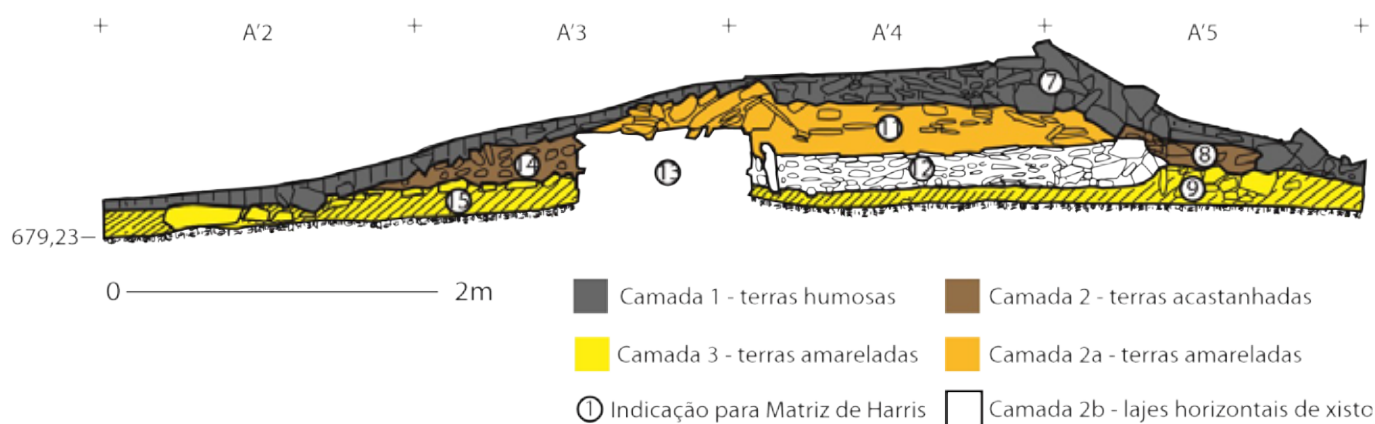


Figura 3 - Representação do Corte 3 (adaptado de S. Oliveira Jorge 1993)

ficaram-se duas datações: a ICEN 885 (3570±100) referente à camada 2 do exterior do recinto; e a CSIC 1813 (3793±34), que data um dos níveis do nicho com sementes. Existia ainda uma terceira datação, Ua20629 (3880±45), relativa a uma pequena estrutura no interior do recinto, aberta na rocha de base, que se

encontrava na área de abrangência, mas era possível relacioná-la com as unidades identificadas no corte 4. A falha nessa relação devia-se a que o corte foi elaborado com informação recolhida em campanhas de escavação anteriores a 1993 e a data foi recolhida na campanha de 2003. Na descrição que acompanhava a

Dada a proximidade espacial, demonstrou-se mais fácil reconstituir as ligações entre os cortes 2, 3 e 6. A proximidade permitiu, também, reconstituir a relação em sequência das unidades incluídas nos cortes 4 e 5. Contudo, e apesar da proximidade espacial, foi mais difícil modelar a relação entre as unidades presentes nos cortes 2,3 e 6 com os cortes 4 e 5. A Fig. 6 apresenta a totalidade das relações estratigráficas identificadas, bem como a inclusão das

datações no interior de cada unidade estratigráfica. A Fig. 7 apresenta o resultado da distribuição das probabilidades, para o conjunto dos cortes. As curvas apresentam a distribuição de probabilidades das datações, devidamente corrigidos pela calibração. As retas, na parte inferior de cada curva, apresentam os intervalos de datação, partindo da conjugação bayesiana das probabilidades das várias datações que compõem essa unidade estratigráfica (“Phase”).

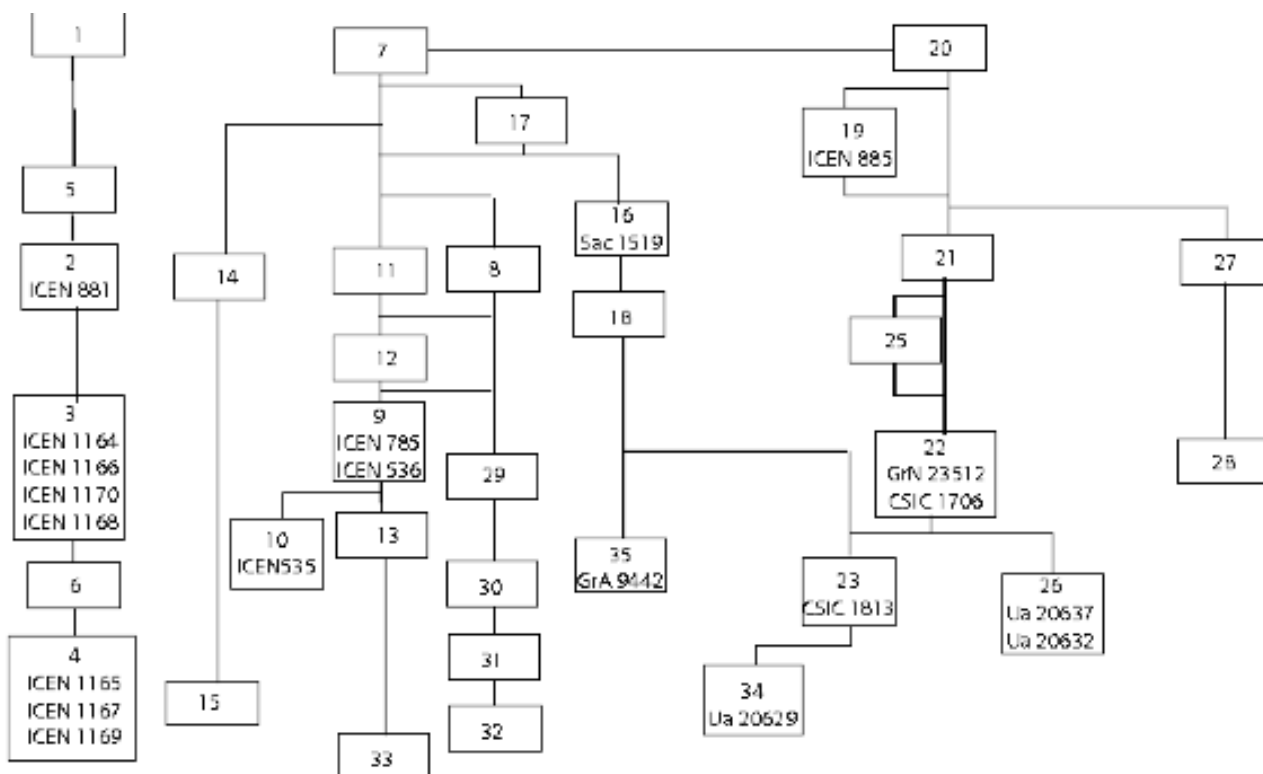


Figura 6 - matriz de relação estratigráfica, construída com base na informação dos cortes publicados em Jorge, S. 1993, incluindo referências às datações de radiocarbono

São também apresentadas as curvas que marcam as fronteiras entre as diferentes unidades (marcadas pelo comando “Boundary”). Como podemos observar na Fig. 7, o modelo apresenta elevados níveis de concordância, o que significa que a distribuição das datas vai ao encontro da observação estratigráfica³. A Tabela 1 permite verificar os resultados produzidos para o modelo com a conjugação dos cortes 1 a 6 e os seus resultados, demonstrando-se, quer os níveis de concordância das diferentes unidades, quer os resultados das diversas datações após a modela-

ção com a informação do seu contexto. Além do refinamento dos intervalos de datação, procurou-se desenvolver também um modelo, que interligasse as unidades de contexto estratigráfico com os elementos arquitetónicos da ocupação pré-histórica. Este elemento poderia ser alcançado através da definição de fronteiras (comando “Boundary” do programa OxCal), que permitiria definir o *terminus post quem* das unidades estratigráficas. Este exercício permitiria também verificar se estas fronteiras possuíam um limite semelhante (e como tal coerente) com o do modelo dos diversos cortes, ou se, pelo contrário, seria observada uma diversidade em termos de datação. Os resultados do mode-

3 Note-se que esta concordância só foi obtida depois de se ter “corrigido” a informação relativa ao corte 1

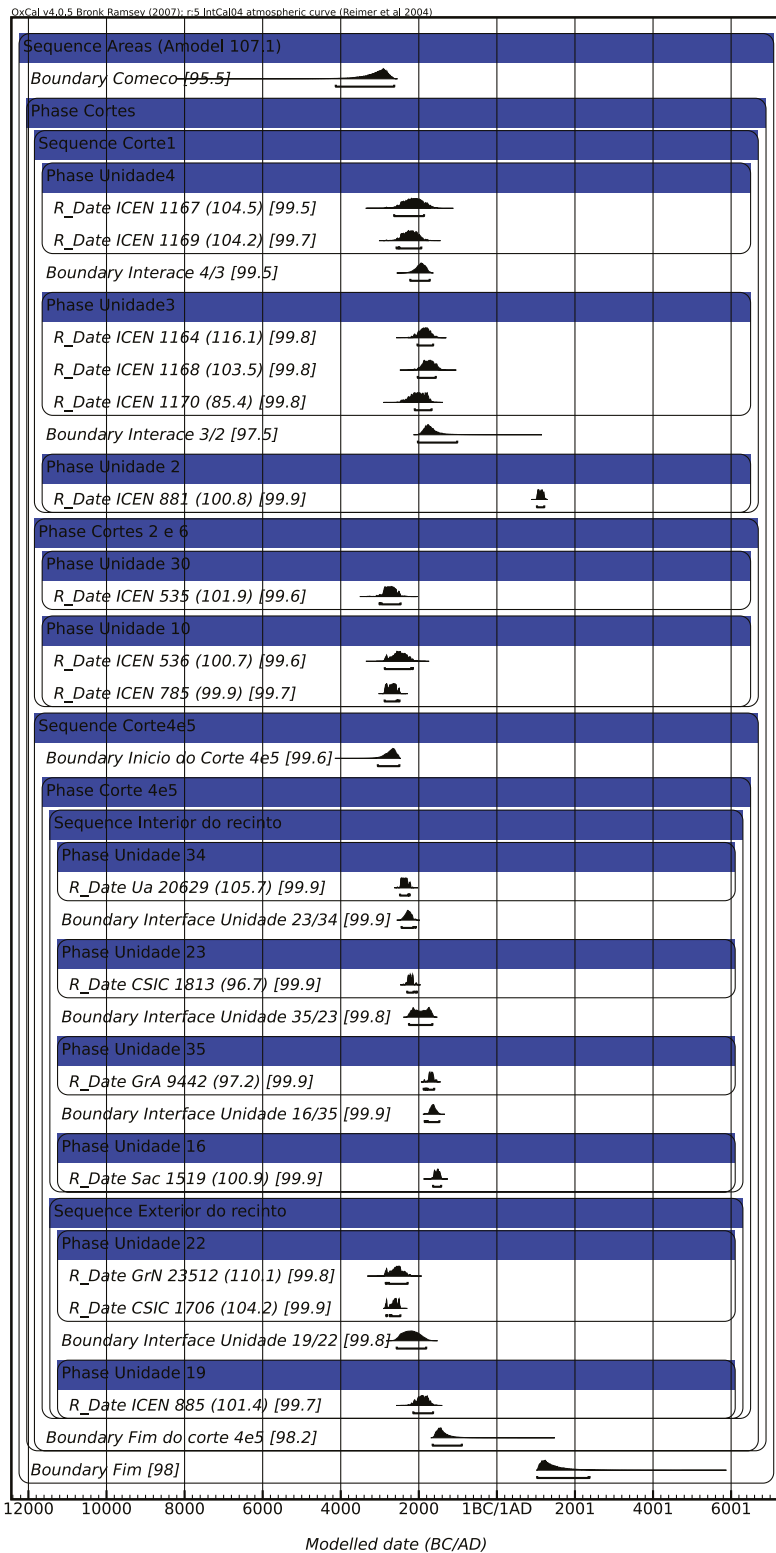


Figura 7 - Distribuição de probabilidades com a conjugação das unidades estratigráficas dos cortes 1 a 6

lo são apresentados na Tabela 2. As diversas unidades apresentam elevados níveis de concordância, mas não se conseguem alcançar progressos significativos numa maior precisão dos intervalos de datação. Procurámos verificar o contributo desta aproximação para o conhecimento do desenvolvimento dos elementos arquitetónicos da ocupação pré-história.

O objetivo era compreender quando teria sido iniciada a sua construção, quando teriam sido modificadas, abandonadas, ou condenadas e como se relacionavam entre si.

Para esta análise, concentrámo-nos na construção de um murete, que se encontra abrangido pelos cortes 1, 2 e 6. A informação de campo indicava que o murete assentava sobre a camada 4, colidindo com a camada 3. Após a introdução no modelo, o murete surge datado num intervalo entre -2213 e -1723 A.C., com uma probabilidade de 95.4%. Note-se que este intervalo (tal como os restantes) é calculado de um modo bayesiano para colocar um possível intervalo entre as unidades estratigráficas, que deriva das datações contidas em cada uma delas.

No corte 2 a 6, este murete surge como unidade 9, situado num intervalo entre -2870 e -2510, com 95.4% de probabilidade. Como podemos ver trata-se de um intervalo que não coincide com o do corte 1. Tal deve-se sobretudo aos valores das datações da unidade 10 (que corresponde à camada de coloração amarela desta área, conhecida geralmente como camada 3). Se consultarmos o quadro vemos que as datações desta unidade situam-na na primeira metade do III milénio, sendo inclusivamente bastante semelhantes à datação da Unidade 31. Isto torna difícil a criação É, no entanto, curioso contrastar esta informação com a das fronteiras do conjunto de datas problemáticas situadas na vizinhança destes cortes (Ua 20630, Ua 20631, Ua 20628).

Dado que elas foram recolhidas numa unidade que é prévia à construção do murete, elas ajudam-nos a conseguir um *terminus post quem* para este, que neste caso corresponderia a um intervalo entre -2551 e -1897 com uma probabilidade de 95.3 %. Ora este intervalo está mais de acordo com o intervalo conseguido na modelação com o corte 1.

Tabela 1 - Tabela com os resultados da modelação bayesiana conjugando os cortes 1 a 6

	Unmodelled (BC/AD)			Modelled (BC/AD)			Am=98.1 Ao=100	4
	from	to	%	from	to	%	A	C
Sequence Areas								
Boundary Começo				-4257	-2604	95.4		96.6
Phase Cortes								
Sequence Corte 1								
Phase Unidade4								
R_Date ICEN 1167	-2618	-1624	95.4	-2631	-1868	95.4	104.6	99.6
R_Date ICEN 1169	-2573	-1785	95.4	-2571	-1937	95.4	104.2	99.7
Boundary Interface 4/3				-2220	-1723	95.4		99.6
Phase Unidade 3								
R_Date ICEN 1164	-2193	-1537	95.4	-2034	-1633	95.4	116.1	99.8
R_Date ICEN 1168	-2029	-1452	95.4	-2027	-1566	95.4	103.7	99.8
R_Date ICEN 1170	-2459	-1700	95.4	-2104	-1672	95.4	85.2	99.7
Boundary Interace 3/2				-2025	-1017	95.4		97.8
Phase Unidade 2								
R_Date ICEN 881	1029	1218	95.4	1028	1214	95.4	100.8	99.9
Sequence Cortes 2 e 6								
Boundary Inicio 2e6				-2956	-2511	95.4		99
Phase Unidade 10								
R_Date ICEN 536	-2876	-2152	95.4	-2874	-2530	95.4	80.9	99.5
R_Date ICEN 785	-2878	-2496	95.4	-2875	-2506	95.4	104.2	99.5
Boundary Interface 10/30				-2849	-2497	95.4		99.5
Phase Unidade 31								
R_Date ICEN 535	-3019	-2471	95.4	-2837	-2468	95.4	92.1	99.4
Boundary Fim 2e6				-2860	-2033	95.4		96.3
Sequence Corte4e5								
Boundary Inicio do Corte 4e5				-3051	-2496	95.4		99.6
Phase Corte 4e5								
Phase Unidade 34								
R_Date Ua 20629	-2472	-2207	95.4	-2480	-2232	95.4	105.7	99.9
Boundary Interface Unidade 23/34				-2443	-2083	95.4		99.9
Phase Unidade 23								
R_Date CSIC 1813	-2345	-2060	95.4	-2299	-2047	95.4	96.8	99.9
Boundary Interface Unidade 35/23				-2252	-1653	95.4		99.8
Phase Unidade 35								
R_Date Gr A 9442	-1770	-1532	95.4	-1876	-1607	95.4	97.1	99.9
Boundary Interface Unidade 16/35				-1851	-1475	95.4		99.9
Phase Unidade 16								
R_Date Sac 1519	-1636	-1422	95.4	-1636	-1429	95.4	100.8	99.9
Sequence Exterior do recinto								
Phase Unidade 22								
R_Date GrN 23512	-2876	-2293	95.4	-2843	-2286	95.4	110.3	99.8
R_Date CSIC 1706	-2862	-2479	95.3	-2835	-2473	95.4	104.2	99.8
Boundary Interface Unidade 19/22				-2567	-1812	95.4		99.9
Phase Unidade 19								
R_Date ICEN 885	-2201	-1667	95.4	-2143	-1634	95.4	101.1	99.7
Boundary Fim do corte 4e5				-1648	-937	95.4		97.9
Boundary Fim				1032	2501	95.4		97.7

Tabela 2 - Resultados da modelação bayesiana, com inclusão de elementos arquitetónicos da ocupação pré-histórica (continua na pág. seguinte)

Name	Unmodelled (BC/AD)						Modelled (BC/AD)						Am=121.1	Vo=121.6
	from	to	%	from	to	%	from	to	%	from	to	%	A	C
Sequence Areas														
Boundary Comeco							-3291	-2731	68.2	-4033	-2620	95.4		96.3
Phase Cortes														
Sequence Cortel														
Phase Unidade4														
R_Date ICEN 1167	-2433	-1881	68.2	-2618	-1624	95.4	-2452	-2019	68.3	-2630	-1866	95.4	104.9	99.6
R_Date ICEN 1169	-2453	-2027	68.2	-2573	-1785	95.4	-2454	-2055	68.2	-2570	-1936	95.4	104.3	99.6
Boundary Murete - Unidade 6							-2051	-1813	68.2	-2213	-1723	95.4		99.5
Phase Unidade3														
R_Date ICEN 1164	-2016	-1693	68.3	-2193	-1537	95.4	-1938	-1744	68.2	-2033	-1637	95.4	116.3	99.8
R_Date ICEN 1168	-1887	-1541	68.2	-2029	-1452	95.4	-1925	-1711	68.2	-2028	-1569	95.4	103.4	99.7
R_Date ICEN 1170	-2277	-1834	68.2	-2459	-1700	95.4	-1961	-1752	68.2	-2097	-1670	95.4	85.1	99.8
Boundary Interface 3/2							-1898	-1596	68.2	-2020	-1091	95.4		97.7
Phase Unidade 2														
R_Date ICEN 881	1045	1206	68.2	1029	1218	95.4	1037	1173	68.2	1028	1213	95.4	100.9	99.8
Sequence Problema														
Boundary Inicio Problema							-2629	-2464	68.2	-2841	-2355	95.4		98.8
R_Date Ua 20631	-2568	-2465	68.2	-2581	-2346	95.4	-2564	-2462	68.2	-2577	-2362	95.4	107.9	99.8
R_Date Ua 20628	-2562	-2348	68.1	-2571	-2297	95.4	-2492	-2406	68.2	-2551	-2346	95.4	120.8	99.9
R_Date Ua 20630	-2467	-2345	68.2	-2547	-2213	95.4	-2470	-2349	68.2	-2477	-2295	95.4	106.7	99.6
Boundary Murete - Problema							-2467	-2287	68.2	-2551	-1897	95.3		96.6
Sequence Cortes 2 e 6														
Boundary Inicio 2 e 6							-2891	-2636	68.2	-3093	-2518	95.4		99.2
Phase Unidade 31														
R_Date ICEN 535	-2890	-2621	68.2	-3019	-2471	95.4	-2865	-2621	68.2	-2920	-2518	95.4	112.6	99.6
Boundary Murete - Unidade 9							-2767	-2578	68.2	-2870	-2510	95.4		99.7
Phase Unidade 10														
R_Date ICEN 536	-2834	-2293	68.2	-2876	-2152	95.4	-2699	-2496	68.2	-2861	-2408	95.4	101.7	99.6
R_Date ICEN 785	-2859	-2579	68.2	-2878	-2496	95.4	-2702	-2498	68.2	-2850	-2484	95.4	98.2	99.7
Boundary Fim 2 e 6							-2729	-2441	68.2	-2856	-2161	95.4		97.3
Sequence Corte4e5														
Boundary Inicio do Corte 4e5							-2778	-2548	68.2	-2981	-2496	95.4		99.7
Phase Corte 4e5														
Sequence Interior do recinto														
Phase Unidade 34														
R_Date Ua 20629	-2458	-2300	68.2	-2472	-2207	95.4	-2465	-2346	68.2	-2480	-2236	95.4	106.3	99.9
Boundary Murete - Pre-Unidade 21							-2352	-2203	68.2	-2429	-2149	95.4		99.9
Phase Unidade 23														
R_Date CSIC 1813	-2287	-2148	68.2	-2345	-2060	95.4	-2277	-2145	68.2	-2308	-2059	95.4	101.3	99.9
Boundary Interface Unidade 35/23							-2268	-1965	68.2	-2285	-1699	95.4		99.7
Phase Unidade 35														
R_Date Gr A 9442	-1737	-1626	68.2	-1770	-1532	95.4	-1737	-1626	68.2	-1768	-1536	95.4	102.2	99.9
Phase Unidade 16														
R_Date Sac 1519	-1607	-1455	68.3	-1636	-1422	95.4	-1605	-1454	68.2	-1628	-1427	95.4	102	99.9
R_Date GrN 23507	-1493	-1392	68.2	-1515	-1314	95.4	-1493	-1397	68.2	-1519	-1318	95.4	103.4	99.8
R_Date Gr A 9241	-1436	-1314	68.2	-1495	-1264	95.4	-1451	-1321	68.2	-1500	-1293	95.4	102.4	99.9
Sequence Exterior do recinto														
Phase Unidade 22														
R_Date GrN 23512	-2856	-2409	68.1	-2876	-2293	95.4	-2656	-2406	68.2	-2834	-2281	95.4	111	99.9

Tabela 2 - Resultados da modelação bayesiana, com inclusão de elementos arquitetónicos da ocupação pré-histórica (continuação da página anterior)

Name	Unmodelled (BC/AD)						Modelled (BC/AD)						Am=121.1	Vo=121.6
	from	to	%	from	to	%	from	to	%	from	to	%	A	C
R_Date CSIC 1706	-2839	-2496	68.2	-2862	-2479	95.3	-2636	-2489	68.2	-2832	-2472	95.4	104	99.8
Boundary Murete - Unidade 23							-2432	-2002	68.2	-2561	-1812	95.4		99.8
Phase Unidade 19														
R_Date ICEN 885	-2035	-1757	68.2	-2201	-1667	95.4	-2013	-1751	68.2	-2143	-1635	95.4	101.1	99.6
Boundary Fim do corte 4e5							-1418	-1217	68.2	-1466	-943	95.4		99.1
Boundary Fim							1065	1495	68.2	1032	2246	95		

No corte 4 e 5 temos o caso de uma data (CSIC 1813) que provém de uma estrutura no próprio murete, dando-nos como de um *terminus ante quem*. O intervalo desta datação calibrada situa-se entre -2308 e -2059, com uma probabilidade de 95.4 %. Esse intervalo adequa-se com as margens dos cortes 1 e da área com o conjunto de datações problemáticas. Importa, contudo, efetuar uma ressalva, que é o facto de a unidade 34, que antecede o intervalo, ser de facto algo que não se situa imediatamente abaixo do murete. Ela situa-se sim por debaixo da camada amarela que colide contra o murete. Daí que o intervalo que surge entre a unidade 34 e a unidade murete, não possa ser devidamente encarado como um *terminus post quem*. De qualquer modo a data CSIC 1818 é coerente com as restantes observações em termos de intervalo de datação da construção do recinto superior.

Dada esta desarticulação optamos por colocar outra hipótese, verosímil se olharmos para o corte 4, que é a da camada amarela no exterior do recinto ser anterior à construção do murete, sendo a camada castanha coincidente com ele, ou posterior a ele. Neste caso o intervalo para a construção do murete seria entre -2561 e -1812, com 95,4% de probabilidade. Dada a dimensão do intervalo, torna-se difícil poder utilizar esta informação como forma de identificar contemporaneidades e diacronias entre estes elementos arquitetónicos.

4. CONCLUSÃO: CONTRIBUTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em termos de contributos e análise de resultados, importa compreender se o modelo conseguiu alcançar

o propósito de permitir uma cronologia mais preciso da ocupação pré-histórica deste lugar, quer em termos das diversas datações, quer em termos de permitir compreender a relação entre os elementos arquitetónicos.

Em termos gerais, verificamos que não foi possível refinar os intervalos de datação para margens consideravelmente abaixo das iniciais. Os resultados continuam a apresentar intervalos com vários séculos.

A definição de um modelo para o desenvolvimento dos elementos arquitetónicos da ocupação pré-histórica revela também dificuldades. Mesmo o elemento mais simples, de definição do *terminus ante quem* da construção de um murete torna-se difícil, com dificuldade de conciliação entre as datações, acompanhado do problema de precisão, mantendo-se intervalos de datação longos, com uma distribuição de quatro ou cinco séculos. Desta forma concluem-se existirem sérias dificuldades de articulação entre estas datações, bem como a dificuldade de se alcançar o desenvolvimento arquitetónico do lugar durante ocupação pré-histórica, incluindo a compreensão de contemporaneidades e diacronias.

5. REFERÊNCIAS

- BAYLISS, A., MCAVOY, F., & WHITTLE, A. (2007). The world recreated: Redating Silbury Hill in its monumental landscape. *Antiquity*, 81(311), 26–53. <https://doi.org/10.1017/S0003598X00094825>
- BAYLISS, A., & RAMSEY, C. (2004). Pragmatic Bayesians: A Decade of Integrating Radiocarbon Dates into Chronological Models (pp. 25–41). https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0231-1_2

- BAYLISS, A., RAMSEY, C. B., PLICHT, J. VAN DER, & WHITTLE, A. (2007). Bradshaw and Bayes: Towards a Timetable for the Neolithic. *Cambridge Archaeological Journal*, 17(S1), 1–28. <https://doi.org/10.1017/S0959774307000145>
- BUCK, C., CHRISTEN, J., KENWORTHY, J. B., & LITTON, C. D. (2007). Estimating the duration of archaeological activity using ¹⁴C determinations. *Oxford Journal of Archaeology*, 13, 229–240. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0092.1994.tb00041.x>
- BUCK, C. E. (2004A). Bayesian Chronological Data Interpretation: Where Now? Em C. E. Buck & A. R. Millard (Eds.), *Tools for Constructing Chronologies: Crossing Disciplinary Boundaries* (pp. 1–24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0231-1_1
- BUCK, C. E. (2004B). *Tools for Constructing Chronologies: Crossing Disciplinary Boundaries* (A. R. Millard, Ed.; 2004ª edição). Springer.
- BUCK, C. E., CAVANAGH, W. G., & LITTON, C. D. (1996). *Bayesian Approach to Interpreting Archaeological Data* (1ª edição). Wiley.
- BUCK, C. E., CHRISTEN, J. A., & JAMES, G. E. (1999). BCAL: An on-line Bayesian radiocarbon calibration tool. *Internet Archaeology*, 7. <https://doi.org/10.11141/ia.7.1>
- BUCK, C. E., KENWORTHY, J. B., LITTON, C. D., & SMITH, A. F. M. (1991). Combining archaeological and radiocarbon information: A Bayesian approach to calibration. *Antiquity*, 65(249), 808–821. <https://doi.org/10.1017/S0003598X00080534>
- BUCK, C. E., LITTON, C. D., & SCOTT, E. M. (1994A). A case study in combining radiocarbon and archaeological information: The early Bronze Age settlement of St Veit- Klingberg, Land Salzburg, *Germania*, 72, 427–447.
- BUCK, C. E., LITTON, C. D., & SCOTT, E. M. (1994B). Making the most of radiocarbon dating: Some statistical considerations. *Antiquity*, 68(259), 252–263. <https://doi.org/10.1017/S0003598X00046561>
- BUCK, C. E., & SAHU, S. K. (2000). Bayesian Models for Relative Archaeological Chronology Building. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 49(4), 423–440.
- HARRIS, E. C. (1979). *The Laws of Archaeological Stratigraphy*. *World Archaeology*, 11(1), 111–117.
- JONES, M., & NICHOLLS, G. (2002). *New Radiocarbon Calibration Software*. *Radiocarbon*, 44(3), 663–674. <https://doi.org/10.1017/S0033822200032112>
- JORGE, S. O. (1994). Colónias, fortificações, lugares monumentalizados. Trajectória das concepções sobre um tema do Calcolítico Peninsular. *Revista da Faculdade de Letras - História*, 11, 447–546.
- JORGE, S. O., BAPTISTA, L., GOMES, S., OLIVEIRA, M. DE L., VARELA, J. M., & VELHO, G. L. (2007). A construção de um sítio arqueológico: Castelo Velho de Freixo de Numão. *Actas do IV Congresso de Arqueologia Peninsular. A concepção das paisagens e dos espaços na Arqueologia da Península Ibérica [Promontoria Monográfica, 08]*, 8, 77–85.
- LITTON, C. D., & LEESE, M. N. (1990). Some statistical problems arising in radiocarbon calibration. *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990*, 101–109.
- LOPES, S., & BETTENCOURT, A. M. S. (2017). Para uma periodização da Pré-História Recente do Norte de Portugal: Da segunda metade do 4º milénio aos finais do 3º milénio AC. *Arqueologia Em Portugal: 2017 Estado Da Questão*. https://www.academia.edu/35466440/Para_uma_periodiza%C3%A7%C3%A3o_da_Pr%C3%A9_Hist%C3%B3ria_Recente_do_Norte_de_Portugal_da_segunda_metade_do_4omil%C3%A9nio_aos_finais_do_3o_mil%C3%A9nio_AC
- LOPES, S. S. (2019). Voltar a Castelo Velho de Freixo de Numão: Pensar a reconfiguração cultural dum recinto pré-histórico do Alto Douro português. *digitAR - Revista Digital de Arqueologia, Arquitectura e Artes*, EX1, 357–389. https://doi.org/10.14195/2182-844X_EX1_12

- NAYLOR, J. C., & SMITH, A. F. M. (1988). An Archaeological Inference Problem. *Journal of the American Statistical Association*, 83(403), 588–595. <https://doi.org/10.1080/01621459.1988.10478638>
- RAMSEY, C. B. (1995). Radiocarbon Calibration and Analysis of Stratigraphy: The OxCal Program. *Radiocarbon*, 37(2), 425–430. <https://doi.org/10.1017/S0033822200030903>
- RAMSEY, C. B. (2001). Development of the Radiocarbon Calibration Program. *Radiocarbon*, 43(2A), 355–363. <https://doi.org/10.1017/S0033822200038212>
- REECE, R. (1994). Are Bayesian statistics useful to archaeological reasoning? *Antiquity*, 68(261), 848–850. <https://doi.org/10.1017/S0003598X00047578>
- SOARES LOPES, S., & GOMES, S. A. (2021). Between the 3rd and 2nd Millennia BC: Exploring Cultural Diversity and Change in Late Prehistoric Communities. *Archaeopress Archaeology*. <https://doi.org/10.32028/9781789699227>
- STEIER, P., & ROM, W. (2000). The Use of Bayesian Statistics for 14C Dates of Chronologically Ordered Samples: A Critical Analysis. *Radiocarbon*, 42(2), 183–198. <https://doi.org/10.1017/S0033822200058999>
- STUIVER, M., & REIMER, P. J. (1986). A Computer Program for Radiocarbon Age Calibration. *Radiocarbon*, 28(2B), 1022–1030. <https://doi.org/10.1017/S0033822200060276>