



CARACTERIZAÇÃO DA POROSIDADE DA SUPERFÍCIE DE ROLHAS DE CORTIÇA NATURAL

Vanda Cristina Paiva Tavares de Oliveira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais

Orientadora: Doutora Helena Margarida Nunes Pereira

Júri:

Presidente: Doutora Maria de Fátima Cerveira Tavares, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Vogais: Doutora Helena Margarida Nunes Pereira, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa
Doutora Teresa Maria Gonçalves Quilhó Marques dos Santos, Investigadora Auxiliar do Instituto de Investigação Científica e Tropical

Lisboa, 2010

Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, à minha família Ricardo, Mafalda e Leonor por serem o meu maior incentivo.

Um agradecimento muito especial à professora Helena Pereira pela oportunidade que me ofereceu e pela sua paciência e disponibilidade na orientação e revisão deste trabalho.

Agradeço também à engenheira Lídia Silva pela realização do trabalho de aquisição e processamento das imagens das rolhas.

Um agradecimento muito especial à Sofia e ao Jorge pela sua amizade e apoio incondicional no desenrolar deste trabalho.

A todos o meu muito obrigado!

Resumo

A avaliação da qualidade comercial das rolhas de cortiça natural é feita actualmente, por análise visual da superfície exterior (corpo e topos) com sistemas automatizados baseados em algoritmos empíricos com os resultados da análise de imagem da superfície.

Este trabalho apresenta uma caracterização da porosidade da superfície exterior de rolhas de cortiça (corpo e topos) e da sua variação na superfície do corpo para três classes de qualidade: Extra/Flor; Superior/1ª e 2ª/3ª.

Os resultados obtidos para as variáveis caracterizadoras da dimensão e da concentração, quer do corpo quer dos topos das rolhas, apresentam uma tendência crescente da melhor para a pior classe de qualidade. As variáveis relacionadas com a forma dos poros apresentam valores idênticos nas três classes de qualidade. As secções tangenciais do corpo apresentam maior porosidade comparativamente com as secções radiais, enquanto que estas apresentam uma área do poro máximo superior.

Uma análise discriminante aplicada às três classes de qualidade seleccionou tanto para o corpo como para os topos, variáveis de dimensão e de cor, enquanto que variáveis relacionadas com a forma dos poros apenas foram incluídas na análise do corpo das rolhas. A percentagem de rolhas classificadas correctamente com os modelos desenvolvidos foi de 87% quando considerando o corpo e de 60% quando considerando os topos.

Palavras-chave: rolhas de cortiça natural, classes de qualidade, porosidade, análise de imagem, análise discriminante

Abstract

Evaluation of the commercial quality of natural cork stoppers is made nowadays by image analysis of the external surface (lateral surface and tops) using automated systems based on empirical algorithms with results of image analysis of the surface.

This report presents a characterization of the porosity of the external surface (lateral surface and tops) and their variation of cork stoppers of three quality classes: Extra/Flor; Superior/1st and 2nd/3rd.

Variables of pore size and concentration, showed an increasing trend from best to worst quality class both in the lateral surface and tops of the stoppers. Variables related to the shape of pores had identical values in the three classes of quality. Tangential sections of the body had higher porosity than radial sections, while these had a higher maximum pore area.

Discriminant analysis applied to the three quality classes selected dimension and color variables for body and tops. Variables related to the shape of the pores were only included in the stopper's body analysis. The overall accuracy of classification was 87% using the lateral body and 60% when considering the tops.

Keywords: natural cork stoppers, quality classes, porosity, image analysis, discriminant analysis

Extended Abstract

The natural cork stoppers remain as the premium product of the cork industry, not only due to business volume and added value they represent, that allow the economic feasibility of the cork sector, but also as its strategic value as a national icon. Quality and performance as wine sealant are essential attributes of cork stoppers.

Nowadays evaluation of commercial quality of natural cork stoppers is made by visual analysis of the outer surface (body and tops) using automated systems based on empirical algorithms with results of image analysis of the surface.

The characterization of the porosity of the outer surface (body and tops) of cork stoppers for the three quality classes, Extra/Flor; Superior/1st and 2nd/3rd, showed that dimension variables (number of pores, total area, rectangle and diameter, mean and maximum, and maximum area of pore), concentration variables (porosity coefficient and concentration in 100 mm²), for body and tops, showed an increasing trend from best to worst quality class. Variables related to the shape of the pores (shape factor, sphericity, aspect ratio, convexity and elongation) had identical values in all three quality classes. The variables related to the color of the pores (RGB and HSI) showed differences between quality classes and Flor/Extra presents a greater heterogeneity of values.

On average, the stoppers belonging to each quality class can be described and distinguished from each other, according to the characteristics of their pores. The cork stoppers of quality classes Flor and Extra have on their lateral surface a porosity coefficient less than 2,4% with pores smaller than 5,7 mm² and with more than 70% of porosity with less than 2 mm². The cork stoppers belonging to the Superior and 1st quality classes have a porosity coefficient less than 4% and 3,1% respectively for the body and the tops, with pores up to 10,6 mm² and 9,0 mm². The 2nd/3rd quality classes cork stoppers have a porosity coefficient less than 5,5% with pores up to 16.1 mm², and only 40% of porosity less than 2 mm².

Discriminant analysis applied to three quality classes selected in both body and tops, dimension (maximum diameter, porosity coefficient, total area and concentration) and color (RGB) variables. Variables related to the shape of the pores (convexity) were only included in the stopper's body analysis. The overall accuracy classification achieved was 87% using the lateral body and 60% when considering the tops.

Natural cork stoppers color variables have high discriminatory power between quality classes. On the other hand, the dimension variables are included as having discriminating power.

When characterizing the body lateral surface of corks stoppers, the dimension and concentration variables presented differences between sections. The tangential sections of the body stopper have higher porosity, in particular, a greater number of pores, a larger total area and higher porosity coefficient, compared with the radial sections. On the other hand, the radial sections show a maximum area of pore and a larger mean rectangle. Variables related to the shape of pores (shape factor, sphericity, aspect ratio, convexity and elongation) have a mean value identical between sections.

The distribution of porosity in the body surface for each quality class showed that the radial sections have a higher percentage of large porosity, which, however, corresponds to a reduced number of pores. Compared with the other quality classes, the Flor/Extra class has a higher percentage of small porosity, particularly at tangential sections where more than 50% of porosity has size up to 1 mm^2 .

The porosity distribution around the body lateral surface showed that in radial sections most of the pores have the orientation of 0° to 45° and 135° to 180° , while in tangential sections almost 80% of pores lies between 45° and 135° .

Índice Geral

1. Objectivos.....	1
2. Introdução	2
2.1. O sobreiro e a produção de cortiça.....	2
2.2. A formação e estrutura da cortiça	5
2.2.1. Formação da cortiça.....	5
2.2.2. Estrutura celular	9
2.3. Produção de rolhas de cortiça natural	11
2.4. A qualidade da cortiça.....	16
2.4.1. Pranchas de cortiça	16
2.4.2. Rolhas de cortiça	19
3. Material e Métodos.....	23
3.1. Material	23
3.2. Análise de imagem das rolhas.....	24
3.3. Análise de dados	27
3.4. Análise Estatística.....	28
4. Resultados e Discussão	32
4.1. Caracterização das classes de qualidade das rolhas	32
4.2. Classificação das rolhas	39
4.3. Caracterização da superfície lateral das rolhas.....	43
5. Conclusões.....	57
6. Referências bibliográficas	59

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa esquemático da distribuição mundial e portuguesa actual do sobreiro	3
Figura 2. Área de distribuição mundial do sobreiro.....	3
Figura 3. Área de montado em Portugal por NUTII (%)	4
Figura 4. Diagrama de apoio à descrição espacial da estrutura da cortiça. Orientação das direcções e secções principais da cortiça em relação ao tronco da árvore.....	6
Figura 5. Formação da periderme no sobreiro. (a) Epiderme na fase inicial de desenvolvimento de um raminho de sobreiro, evidenciando a camada cuticular de revestimento na parte exterior. (b) Início da divisão celular imediatamente sob a epiderme, conducente à formação do felogénio. (c) Fase inicial da formação da periderme num ramo de sobreiro com um ano de idade, mostrando a rotura da epiderme e várias camadas de células de cortiça. (d) Desenvolvimento da periderme num ramo de sobreiro com quatro anos de idade.	7
Figura 6. Formação dos canais lenticulares. (a) Desenvolvimento de uma lentícula na fase inicial de formação da periderme. (b) Início da formação de um canal lenticular; as células de enchimento estão coradas a azul. (c) Fotografia do lado interior de uma prancha de cortiça, mostrando um canal lenticular.	8
Figura 7. Canais lenticulares da cortiça observados nas secções radial, tangencial e transversal	8
Figura 8. Estrutura celular da cortiça (a) secção tangencial, (b) secção radial e (c) secção transversal.....	9
Figura 9. Diagrama da estrutura tridimensional da cortiça	10
Figura 10. Distribuição do valor das vendas da indústria de cortiça.....	11
Figura 11. Esquema geral do fluxo de materiais nas principais linhas de processamento industrial da cortiça.....	12
Figura 12. Fluxograma geral da preparação de pranchas de cortiça	13
Figura 13. Fluxograma geral da produção industrial de rolhas de cortiça natural a partir de pranchas de cortiça preparadas.....	14
Figura 14. Operação de classificação: (a) escolha manual, (b) máquina de escolha óptica	15
Figura 15. Esquema teórico de utilização de uma prancha de cortiça para a produção de rolhas. A zona a vermelho corresponde à área de aparas de recorte	20
Figura 16. Fotografias da superfície de uma rolha de cortiça, incluindo os dois topos circulares e a totalidade da superfície lateral com as diversas secções (T – tangencial, R- radial, Tr - transversal).....	20
Figura 17. Sistema simplificado para classificação da qualidade da cortiça em três grandes classes: (a) Classe de qualidade A, (b) Classe de qualidade B e (c) Classe de qualidade C	21
Figura 18. Exemplo de uma rolha (imagem do corpo e do topo) para cada uma das três classes de qualidade: (a) Flor/Extra, (b) Superior/1ª e (c) 2ª/3ª.....	24
Figura 19. Sistema de análise de imagem utilizado para a captura e processamento das imagens da superfície das rolhas	25
Figura 20. Ilustração da sequência de imagens efectuadas para análise da superfície exterior do corpo da rolha	25
Figura 21. Superfície lateral do corpo (cilíndrica) e topos das rolhas (a), com a sobreposição de detecção de poros (b)	26

Figura 22. Histograma de frequências do coeficiente de porosidade do corpo (a) e do topo (b) das rolhas para cada classe de qualidade	29
Figura 23. Distribuição percentual da porosidade do corpo das rolhas por classes de dimensão	35
Figura 24. Distribuição percentual do número de poros do corpo das rolhas por classes de dimensão	35
Figura 25. Variação do coeficiente de porosidade para o corpo e os topos [média (n=100) e intervalo de confiança de 95%]	37
Figura 26. Diagramas de extremos e quartis das variáveis (a) Vermelho, (b) Verde e (c) Azul nas três classes de qualidade	38
Figura 27. Mapa territorial das duas funções discriminantes para (a) o corpo das rolhas e para (b) o topo das rolhas	42
Figura 28. Variação do coeficiente de porosidade na superfície lateral do corpo das rolhas [média (n=300) e intervalo de confiança de 95%]	44
Figura 29. Variação do coeficiente de porosidade na superfície lateral do corpo das rolhas para cada classe de qualidade [média (n=100)]	45
Figura 30. Variação do número de poros na superfície lateral do corpo das rolhas [média (n=300) e intervalo de confiança de 95%]	46
Figura 31. Variação do número de poros na superfície lateral do corpo das rolhas para cada classe de qualidade [média (n=100) e intervalo de confiança de 95%]	47
Figura 32. Variação do rectângulo médio na superfície lateral do corpo das rolhas [média (n=300) e intervalo de confiança de 95%]	49
Figura 33. Variação do rectângulo médio na superfície lateral do corpo das rolhas para cada classe de qualidade [média (n=100) e intervalo de confiança de 95%]	49
Figura 34. Localização do poro de maior dimensão na superfície lateral das rolhas	50
Figura 35. Localização do poro de maior dimensão na superfície lateral das rolhas da classe de qualidade (a) Flor/Extra, (b) Superior/1ª e (c) 2ª/3ª	51
Figura 36. Distribuição percentual da porosidade na superfície lateral por classes de dimensão (mm ²)	52
Figura 37. Distribuição percentual do número de poros na superfície lateral por classes de dimensão (mm ²)	52
Figura 38. Distribuição percentual da porosidade na superfície lateral do corpo das rolhas por classes de dimensão (mm ²) para a classe de qualidade Flor/Extra	53
Figura 39. Distribuição percentual do número de poros na superfície lateral do corpo das rolhas por classes de dimensão (mm ²) para a classe de qualidade Flor/Extra	53
Figura 40. Distribuição percentual da porosidade na superfície lateral do corpo das rolhas por classes de dimensão (mm ²) para a classe de qualidade Superior/1ª	54
Figura 41. Distribuição percentual do nº de poros na superfície lateral do corpo das rolhas por classes de dimensão (mm ²) para a classe de qualidade Superior/1ª	54
Figura 42. Distribuição percentual da porosidade na superfície lateral do corpo das rolhas por classes de dimensão (mm ²) para a classe de qualidade 2ª/3ª	55

Figura 43. Distribuição percentual do nº de poros na superfície lateral do corpo das rolhas por classes de dimensão (mm ²) para a classe de qualidade 2 ^a /3 ^a	55
Figura 44. Distribuição percentual do número de poros da superfície lateral das rolhas por classe de orientação.....	56

Índice de Quadros

Quadro 1. Áreas dos povoamentos florestais, segundo a composição específica	4
Quadro 2. Produtividade média anual de cortiça de reprodução, segundo a composição específica dos povoamentos	5
Quadro 3. Características dimensionais das células de cortiça	10
Quadro 4. Listagem e descrição das variáveis medidas através de análise de imagem	28
Quadro 5. Média e desvio padrão (nos parêntesis) das variáveis independentes para o corpo e topos das rolhas das três classes de qualidade.....	33
Quadro 6. Matriz dos coeficientes estruturais das variáveis com poder discriminante, significância das funções discriminantes e percentagem da variância entre os grupos explicada pelas 2 funções discriminantes extraídas	40
Quadro 7. Funções classificatórias encontradas para corpo e topo das três classes de qualidade	41
Quadro 8. Resultados da classificação das rolhas nas classes de qualidade em percentagem do número de inicial de rolhas em cada classe.....	42
Quadro 9. Média das variáveis independentes para as secções laterais do corpo das rolhas ...	43
Quadro 10. ANOVA <i>two-way</i> para o coeficiente de porosidade	45
Quadro 11. Média das variáveis independentes para as secções laterais do corpo das rolhas da classe de qualidade Flor/Extra	47
Quadro 12. Média das variáveis independentes para as secções laterais do corpo das rolhas da classe de qualidade Superior/1ª	48
Quadro 13. Média das variáveis independentes para as secções laterais do corpo das rolhas da classe de qualidade 2ª/3ª.....	48

1. Objectivos

O objectivo geral deste trabalho é a caracterização detalhada e quantificação da porosidade da superfície das rolhas de diferentes classes de qualidade comercial (Extra/Flor, Superior/1ª e 2ª/3ª) de modo a contribuir para uma melhor definição da classificação de qualidade das rolhas de cortiça natural.

Constitui objectivo específico averiguar quais as características visuais da superfície do corpo e topos das rolhas que distinguem as rolhas de uma determinada classe de qualidade.

Pretende-se também proceder a uma caracterização da variação das características da porosidade na superfície lateral do corpo das rolhas, tendo em conta o processo de brocagem das rolhas e a sua classe de qualidade.

2. Introdução

O valor económico da cortiça para Portugal é inquestionável, pois ela constitui a matéria-prima de uma das indústrias nacionais mais importantes e com grande peso nos produtos destinados aos mercados externos (Pereira, 2007). Para além da sua importância socioeconómica, as florestas de sobreiros desempenham também um papel ecológico determinante na luta contra a desertificação e na manutenção da biodiversidade (Fortes *et al.*, 2004).

As rolhas de cortiça natural permanecem como o produto de excelência da indústria corticeira, não só face ao volume de negócios e ao valor acrescentado que representam, como também ao seu valor estratégico como ícone nacional. Deste modo, a sua qualidade e o reconhecimento de uma performance sem falhas na utilização são atributos essenciais.

Verificam-se, no entanto, em alguns casos, variações negativas na evolução dos vinhos em garrafa que têm sido atribuídas às rolhas de cortiça natural em consequência da sua variabilidade intrínseca, mas cujos factores são ainda pouco conhecidos. Este conhecimento é essencial para que as rolhas de cortiça se mantenham como o vedante de eleição para vinhos, tanto mais que se verifica nos mercados externos uma forte campanha para substituição das rolhas de cortiça por vedantes alternativos (rolhas sintéticas e cápsulas metálicas) aproveitando esta variabilidade como argumento.

2.1. O sobreiro e a produção de cortiça

O sobreiro (*Quercus suber* L.) é uma espécie de carvalho de folha persistente que pertence ao género *Quercus*, membro da ordem *Fagales* e da família *Fagaceae*. A sua área de distribuição encontra-se confinada à região ocidental da Bacia Mediterrânica sobretudo nas regiões a sul da Península Ibérica e com influência atlântica como é o caso de Portugal (Figura 1).

A área mundial de sobreiro estima-se ser de, aproximadamente, 2,3 milhões de hectares dos quais mais de 715 mil hectares, se encontram em Portugal, representando cerca de 32% da área mundial (Figura 2). Segundo dados do 5º Inventário Florestal Nacional (IFN5), em Portugal, o montado de sobreiro representa cerca de 23% da área florestal total, encontrando-se maioritariamente em povoamentos puros e na região do Alentejo (Quadro 1 e Figura 3).

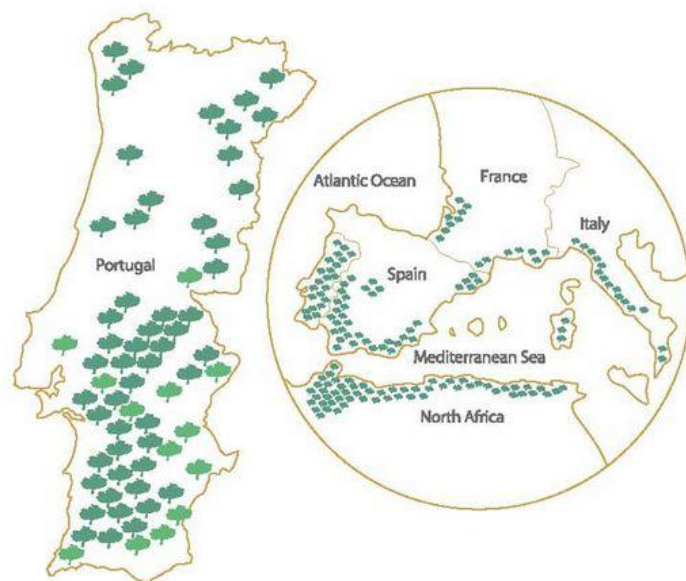


Figura 1. Mapa esquemático da distribuição mundial e portuguesa actual do sobreiro

Fonte: APCOR, 2009a

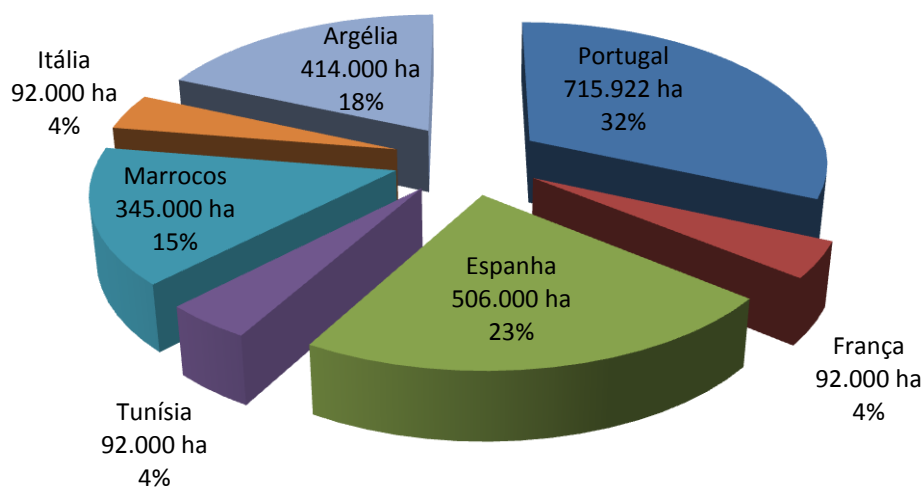
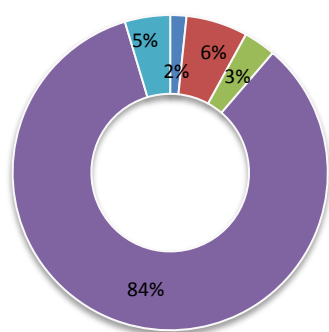


Figura 2. Área de distribuição mundial do sobreiro

Fonte: IFN5 e APCOR, 2009a

Considerado património nacional, o montado de sobreiro é legalmente protegido (Decreto-lei nº 169/2001), sendo proibido o seu abate e incentivada a sua plantação e exploração. Segundo dados do 5º Inventário Florestal Nacional (IFN5), existem mais de 46 mil hectares de povoamentos jovens que correspondem a 7% da totalidade dos povoamentos florestais de sobreiro puro e/ou dominante (Quadro 1).



■ Norte ■ Centro ■ Lisboa ■ Alentejo ■ Algarve

Figura 3. Área de montado em Portugal por NUTII (%)

Fonte: IFN5, AFN. Ano: 2010

Quadro 1. Áreas dos povoamentos florestais, segundo a composição específica

Composição	Área (ha)	Área (%)
Puro	547.807	77
Dominante	121.301	17
Dominado	85.482	--
Puro/dominante jovem	46.815	7

Fonte: IFN5, AFN. Ano: 2010

A cortiça constitui o revestimento exterior do tronco e ramos do sobreiro, sendo retirada periodicamente, usualmente com intervalos de nove anos, sob a forma de pranchas com espessura adequada ao processamento industrial, nomeadamente para a produção de rolhas (Fortes *et al.*, 2004). A cortiça é um material biológico com uma estrutura celular e comportamento mecânico típicos que proporcionam a sua utilização e reconhecimento como vedante inigualável para garrafas de vinho (Pereira, 2007; Fortes *et al.*, 2004; Pereira *et al.*, 1987; Pereira, 1988).

A *cortiça virgem* é a primeira cortiça produzida pelo sobreiro e é extraída quando a árvore atinge dimensões consideradas pelas boas práticas florestais como adequadas para o primeiro descortiçamento. Esta cortiça apresenta sulcos e fendas verticais resultantes das fortes tensões tangenciais originadas pelo crescimento radial do tronco da árvore. A segunda camada de cortiça produzida pelo felogénio traumático, formado após o primeiro descortiçamento, tem a designação de *cortiça de reprodução secundária*. Esta cortiça também apresenta numerosas fracturas verticais devido às tensões resultantes do crescimento radial do sobreiro que ainda se encontra numa fase de engrossamento do tronco. As fracturas presentes na cortiça virgem e na cortiça secundária, de um modo geral, não permitem a sua utilização para

rolhas. As cortiças produzidas posteriormente pelos felogénios formados após cada descortiçamento são designadas de *cortiça de reprodução amadia* e apresentam-se como uma camada de espessura uniforme, com poucas fracturas e de pequena profundidade. Esta é a cortiça que constitui a matéria-prima para a indústria de rolhas (Fortes *et al.*, 2004).

A produção mundial de cortiça encontra-se estimada em 374 mil toneladas anuais, sendo Portugal responsável pela produção de cerca de 51% e Espanha por 23% (Pereira, 2007). O 5º Inventário Florestal Nacional estima que a produtividade média anual de cortiça de reprodução amadia seja superior a 85 mil toneladas (Quadro 2).

Quadro 2. Produtividade média anual de cortiça de reprodução, segundo a composição específica dos povoamentos

Composição	Produtividade anual cortiça ton/ano	Produtividade anual cortiça kg/ha.ano
Puro	68.767	125,5
Dominante	11.015	90,8
Dominado	5.363	62,7

Fonte: IFN5, AFN. Ano: 2010

2.2. A formação e estrutura da cortiça

A descrição da formação e estrutura da cortiça requer a sua localização no espaço e relativamente à sua posição inicial na árvore. A nomenclatura normalmente utilizada define três direcções principais e três secções principais, perpendiculares a cada uma das direcções principais, também perpendiculares entre si. As direcções segundo o raio e o eixo do tronco designam-se, respectivamente, por radial e axial, enquanto a direcção tangente à circunferência do tronco se designa por tangencial (Figura 4) (Fortes *et al.*, 2004; Pereira, 2007).

A secção perpendicular à direcção radial designa-se por tangencial, a secção transversal é a secção perpendicular à direcção axial, e a secção perpendicular à direcção tangencial designa-se por secção radial (Figura 4) (Fortes *et al.*, 2004; Pereira, 2007).

2.2.1. Formação da cortiça

A cortiça (felema) que se extrai do sobreiro é um tecido vegetal que faz parte do sistema da periderme que reveste os caules e raízes das plantas dicotiledóneas com crescimento secundário, isto é, com engrossamento devido à actividade do câmbio (Fortes *et al.*, 2004).

A periderme substitui nas suas funções de protecção e isolamento a epiderme, que entretanto se rasga devido às tensões provocadas pelo crescimento radial. A periderme é formada por

três partes: o felogénio (ou câmbio cortical), que é uma camada de células que possui actividade meristemática; o felema ou cortiça, que é produzido pelo felogénio para o exterior; e a feloderme, que é produzida pelo felogénio para o interior (Figura 5) (Fortes *et al.*, 2004; Pereira, 2007).

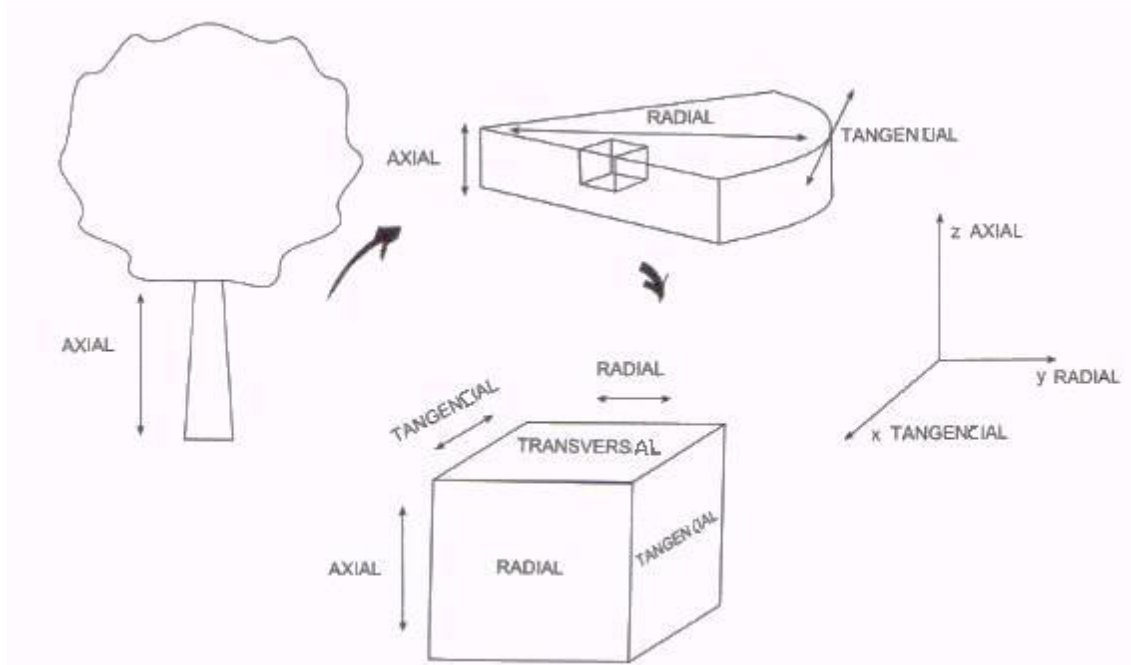


Figura 4. Diagrama de apoio à descrição espacial da estrutura da cortiça. Orientação das direcções e secções principais da cortiça em relação ao tronco da árvore.

Fonte: Pereira, 2007

O felogénio forma-se sob a epiderme e é constituído por uma camada de espessura unicelular, com células todas do mesmo tipo, poligonais na secção tangencial e rectangulares na secção transversal, achatadas na direcção radial, e que por sucessivas divisões periclinais (paralelas à secção tangencial) origina para o interior um tecido denominado feloderme e para o exterior o tecido suberoso (Figura 5 b) (Fortes *et al.*, 2004; Pereira, 2007).

No processo de divisão celular do felogénio surgem também divisões anticlinais de modo a permitir o aumento de perímetro do felogénio para acompanhar o crescimento em diâmetro do tronco e dos ramos. À medida que se dá este crescimento, a epiderme distende-se e, quando atinge o seu limite de resistência, fractura-se, mostrando as zonas subjacentes de cortiça já formada (Fortes *et al.*, 2004). O primeiro felogénio mantém a sua actividade ano após ano, produzindo várias camadas de cortiça. Esta cortiça na primeira periderme é chamada cortiça virgem e apresenta profundas fracturas e sulcos que se estendem na sua maioria longitudinalmente e que são devidas ao engrossamento radial da árvore (Figura 5 d) (Pereira, 2007).

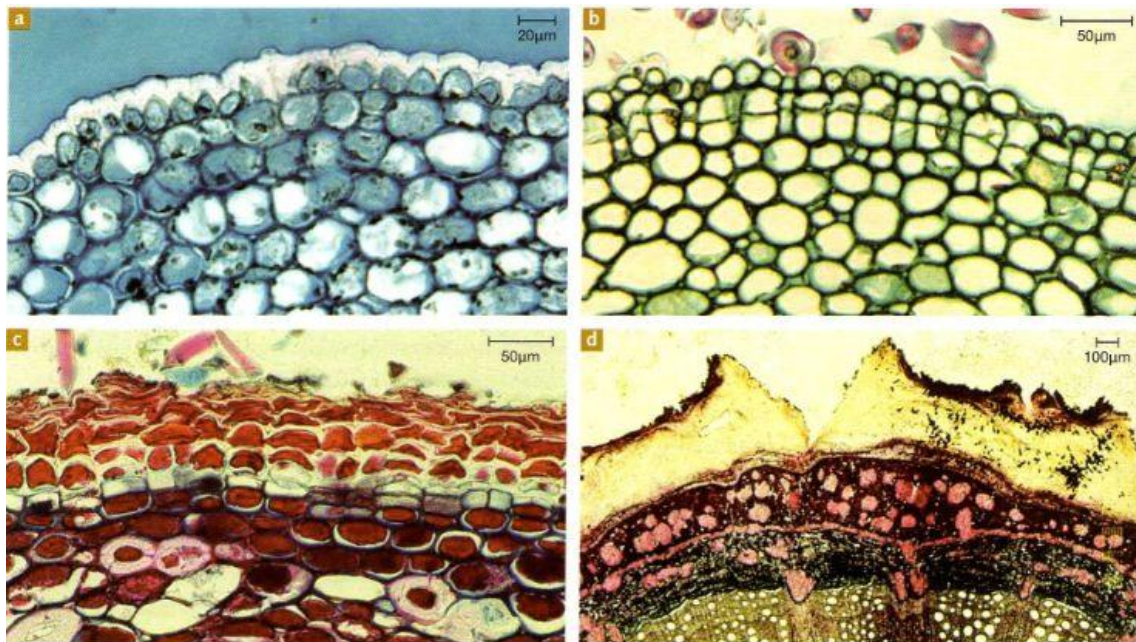


Figura 5. Formação da periderme no sobreiro. (a) Epiderme na fase inicial de desenvolvimento de um raminho de sobreiro, evidenciando a camada cuticular de revestimento na parte exterior. (b) Início da divisão celular imediatamente sob a epiderme, conducente à formação do felogénio. (c) Fase inicial da formação da periderme num ramo de sobreiro com um ano de idade, mostrando a rotura da epiderme e várias camadas de células de cortiça. (d) Desenvolvimento da periderme num ramo de sobreiro com quatro anos de idade.

Fonte: Fortes et al., 2004

A cortiça virgem pode ser separada dos restantes tecidos da periderme durante o período de actividade do felogénio, aproveitando a fragilidade das células de cortiça em formação. Esta operação deixa a descoberto o felogénio que, exposto à atmosfera, seca e morre. Um novo felogénio (felogénio traumático) diferencia-se no floema inactivo 25 a 35 dias após o descortiçamento. Este novo felogénio apresenta o mesmo tipo de actividade meristemática do felogénio inicial, gerando para o interior células de feloderme e para o exterior células suberosas de cortiça (Fortes *et al.*, 2004; Pereira, 2007). O processo de descortiçamento pode ser repetido sucessivas vezes, havendo lugar à diferenciação de novo felogénio em cada vez.

O felogénio não é totalmente homogéneo, verificando-se que, em determinadas zonas, especialmente sob os estomas da epiderme, apresenta características especiais, constituindo o felogénio lenticular que vai gerar células diferenciadas, formando um sistema chamado lentícula. As células lenticulares ou tecido de enchimento têm forma mais ou menos arredondada, com importantes espaços intercelulares e são pouco ou nada suberificadas. Atribui-se às lentículas a função de permitir as trocas gasosas com o interior da árvore, funcionando como poros do tecido (Figura 6 a, b) (Fortes *et al.*, 2004).

No felogénio traumático também se formam zonas de felogénio lenticular cuja actividade leva à formação dos canais lenticulares com o seu tecido de enchimento. Estes canais lenticulares desenvolvem-se radialmente na cortiça, formando cilindros orientados radialmente que atravessam a cortiça desde o felogénio até à superfície exterior. Deste modo, nas secções transversal e radial da cortiça, os canais lenticulares surgem aproximadamente rectangulares e na secção tangencial mais ou menos circulares (Figura 7). No lado interior da prancha observam-se alterações de relevo associadas às lentículas (Figura 6 c) (Fortes *et al.*, 2004).

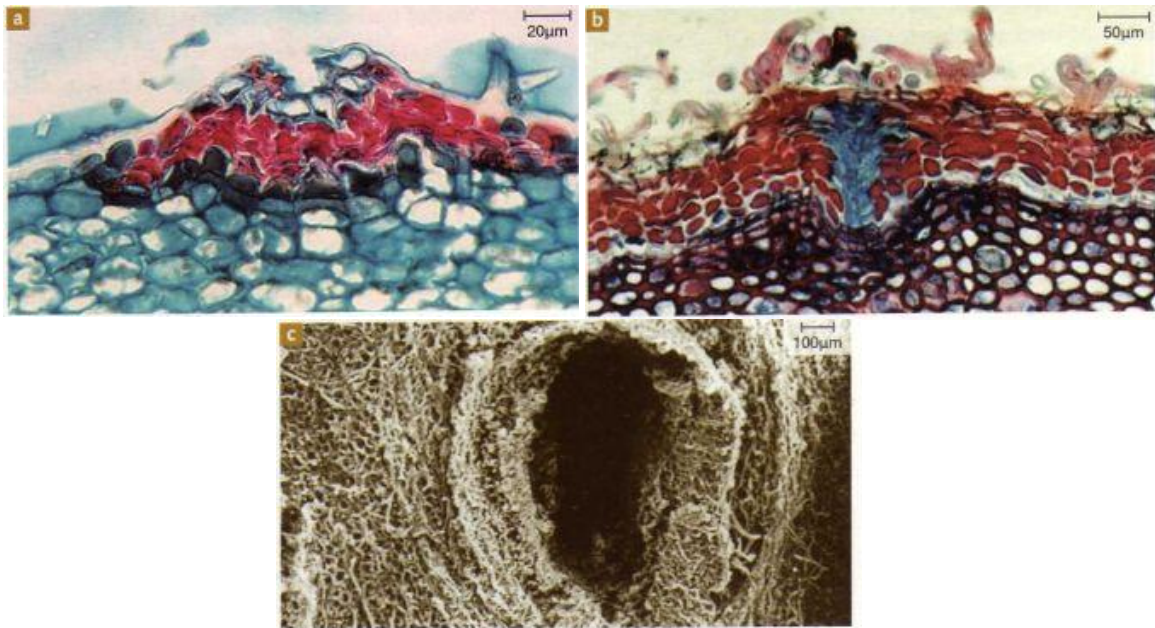


Figura 6. Formação dos canais lenticulares. (a) Desenvolvimento de uma lentícula na fase inicial de formação da periderme. (b) Início da formação de um canal lenticular; as células de enchimento estão coradas a azul. (c) Fotografia do lado interior de uma prancha de cortiça, mostrando um canal lenticular.

Fonte: Fortes et al., 2004

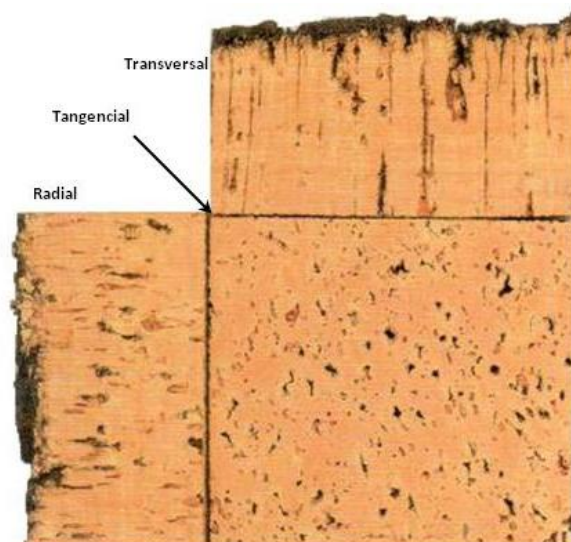


Figura 7. Canais lenticulares da cortiça observados nas secções radial, tangencial e transversal

Fonte: Pereira, 2007

2.2.2. Estrutura celular

A estrutura celular da cortiça observada por microscopia electrónica de varrimento nas três principais secções é apresentada na Figura 8. De uma forma simplificada, cada célula de cortiça tem geralmente uma forma prismática, com 14 faces. Em cortes feitos radial e transversalmente, as células da cortiça apresentam-se praticamente iguais, como polígonos de 4 a 6 lados e um arranjo semelhante a uma “parede-de-tijolos” (Figura 8 b, c). Nestas duas secções observa-se que os topos das células, em fiadas diferentes, estão desencontrados, estando cada célula em contacto com 14 células vizinhas. Em corte tangencial, as células exibem uma estrutura semelhante a um “favo-de-mel”, em que cada célula tem em geral 5 a 7 lados (Figura 8 a). As paredes laterais encontram-se frequentemente enrugadas devido à compressão a que as células estão sujeitas durante o crescimento em espessura (Fortes et al., 2004).

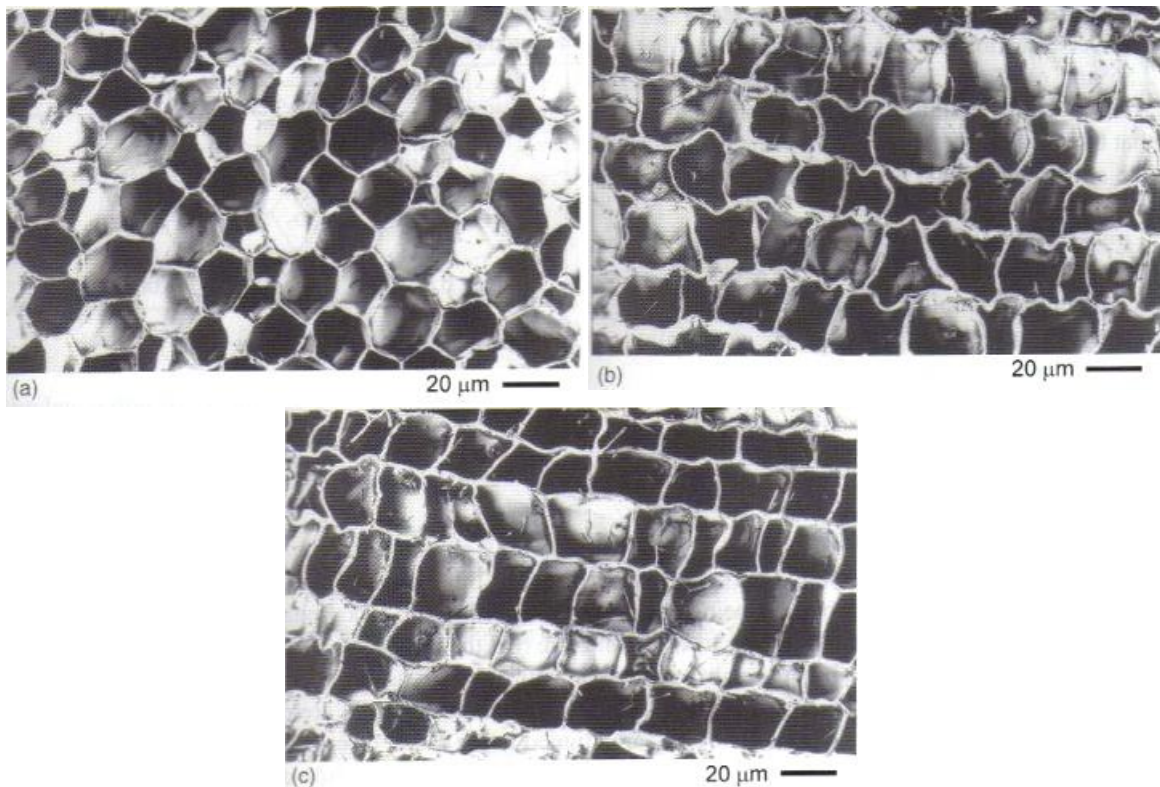


Figura 8. Estrutura celular da cortiça (a) secção tangencial, (b) secção radial e (c) secção transversal.

Fonte: Pereira, 2007

As secções observadas permitem a visualização tridimensional da estrutura da cortiça. Normalmente, a cortiça é descrita como sendo formada por células fechadas com forma de prismas hexagonais empilhadas base com base formando fiadas; em cada fiada os prismas têm bases com a mesma dimensão mas a sua altura é variável (Figura 9) (Pereira, 2007).

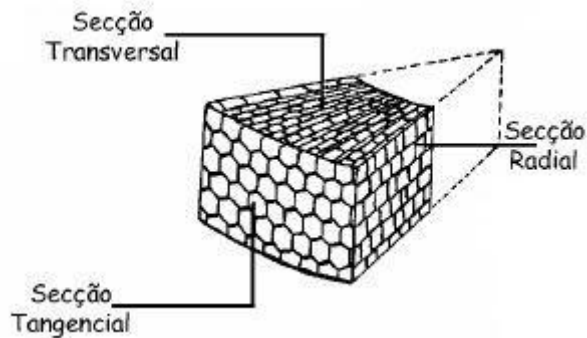


Figura 9. Diagrama da estrutura tridimensional da cortiça

Fonte: Teles, 2000

As células da cortiça apresentam dimensões muito variáveis quer entre cortiças quer numa mesma prancha de cortiça.

O ciclo anual do sobreiro, nas condições climáticas de Portugal, compreende duas fases: a de actividade vegetativa (Abril a Outubro/Novembro) e a de repouso invernal em que o felogénio e o câmbio não se encontram em actividade. Na fase de actividade distinguem-se dois períodos: o primaveril ou de início de estação de crescimento (Abril a Junho) em que o felogénio se encontra mais activo, e o estival-outonal ou de fim de estação de crescimento (Julho a Outubro/Novembro), em que o felogénio apresenta uma actividade menos acentuada.

As células de início de estação de crescimento sofrem um alongamento apreciável, atingindo comprimentos na direcção radial de 30-40 μm , com espessuras de parede de aproximadamente 1-1,5 μm . As células de fim de estação de crescimento apresentam em corte radial ou transversal uma forma rectangular achatada na direcção radial com 10-15 μm de comprimento radial e 2-3 μm de espessura de parede (Quadro 3). Esta diferença de dimensões entre células de início e fim de estação dá origem a que os respectivos tecidos apresentem coloração diferente, sendo a faixa de células de Outono mais escura devido a uma maior massa por unidade de volume. Este facto permite distinguir os anéis de crescimento anual da cortiça por observação visual de cortes transversais ou radiais.

Quadro 3. Características dimensionais das células de cortiça

	Células de Primavera	Células de Outono
Altura do prisma	30-40 μm	10-15 μm
Dimensão média da aresta da base	13-15 μm	13-15 μm
Área média da base	4×10^{-6} a 6×10^{-6} cm^2	4×10^{-6} a 6×10^{-6} cm^2
Espessura da parede	1-1,5 μm	2-3 μm
Número de células por cm^3	4×10^7 a 7×10^7	10×10^7 a 20×10^7

Fonte: Pereira, 2007

2.3. Produção de rolhas de cortiça natural

A indústria da cortiça, numa perspectiva de maximização do aproveitamento e valorização da matéria-prima, produz diferentes produtos com incorporação de cortiça e transformação tecnológica variável (Pereira, 2007). No entanto, as rolhas de cortiça natural permanecem como o produto de excelência da indústria corticeira, não só face ao volume de negócios e ao valor acrescentado que representam, que viabiliza economicamente a exploração do sobreiro, como também pelo seu valor estratégico como ícone nacional. Actualmente, o valor comercial da cortiça é determinado pela sua adequação para a produção de rolhas de cortiça natural (Pereira, 2007).

Segundo dados do Instituto Nacional de Estatística de 2008, a indústria de cortiça obteve um valor total de vendas superior a mil milhões de euros, dos quais mais de 382 milhões de euros se referem a vendas para o mercado nacional (37%) e mais de 640 milhões de euros a vendas para a União Europeia e países terceiros (Figura 10).

Dentro do segmento de rolhas de cortiça, as rolhas de cortiça natural surgem em primeiro lugar com um valor de vendas superior a 381 milhões de euros, seguidas pelas rolhas de cortiça aglomerada com mais de 121 milhões de euros e das rolhas para vinhos espumantes com mais de 64 milhões de euros (INE, 2010).

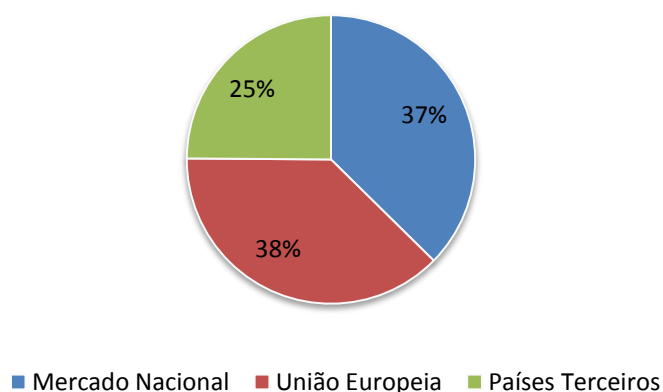


Figura 10. Distribuição do valor das vendas da indústria de cortiça

Fonte: Estatísticas da Produção Industrial – 2008. Ano: 2010

Em geral, o processamento da cortiça pode seguir uma de duas vias, de acordo com o tipo de cortiça que constitui a matéria-prima e o tipo de produto produzido (Figura 11). A cortiça de reprodução é utilizada primeiramente para a produção de produtos de cortiça natural (rolhas e discos). A matéria-prima que não é adequada para a produção de rolhas e discos de cortiça natural (refugo, devido a quantidade excessiva de defeitos, e bocados, sem as dimensões

mínimas necessárias) e os subprodutos da sua produção são triturados e aglomerados dando origem a diversos produtos de cortiça aglomerada (Pereira, 2007).

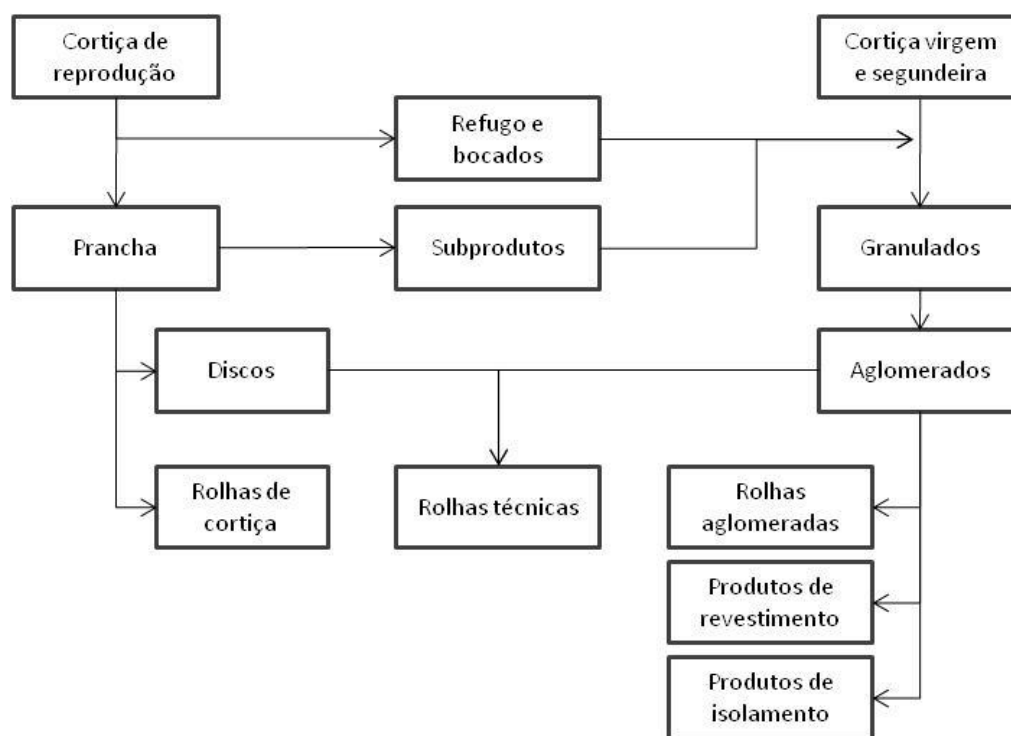


Figura 11. Esquema geral do fluxo de materiais nas principais linhas de processamento industrial da cortiça

Fonte: Pereira, 2007

Após o descortiçamento e recepção na fábrica, as pranchas de cortiça são armazenadas segundo regras definidas pelo Código Internacional de Práticas Rolheiras (CIPP), de forma a permitir a estabilização da cortiça. Posteriormente entram num processo designado de Preparação, que consiste essencialmente na cozedura em água, traçamento e escolha das pranchas de cortiça (Figura 12).

Toda a cortiça amadia destinada à produção de rolhas e discos é sujeita a um processo de imersão em água limpa e a ferver durante pelo menos uma hora. Actualmente a cozedura faz-se em autoclaves fechadas associadas a sistemas de circulação em contínuo da água para remoção de sólidos por filtração e controlo da temperatura por aquecimento em permutadores (Pereira, 2007). O objectivo da cozedura é alterar as propriedades mecânicas das pranchas, de modo a aplanar a sua curvatura (resultante da forma do tronco) e a facilitar as operações de corte posteriores (Fortes *et al.*, 2004).

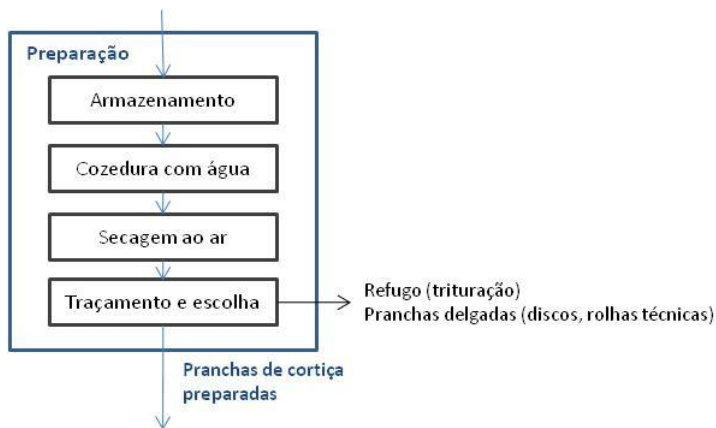


Figura 12. Fluxograma geral da preparação de pranchas de cortiça

Fonte: Fortes et al., 2004

Após a cozedura, decorre a estabilização da cortiça durante 2-3 dias passando depois à fase de traçamento e escolha, que tem como objectivo a separação da cortiça destinada à indústria rolheira, segundo a sua espessura e qualidade. O traçamento é realizado por um operário especializado (traçador) que corta as pranchas brutas em pranchas mais pequenas com classe de espessura idêntica e uma qualidade adequada para o fabrico de rolhas, fazendo também uma separação destas pranchas traçadas por classes de calibre e classes de qualidade (Fortes *et al.*, 2004). Neste processo são eliminadas como refugo as pranchas que apresentam defeitos extensos, nomeadamente bofe, galerias de insectos e um teor elevado de inclusões de tecido lenhificado ou terra e as pranchas com ataque microbiológico designado mancha-amarela por existir grande probabilidade de virem a desenvolver tricloroanisol (TCA).

Como se referiu anteriormente, as rolhas de cortiça natural são o produto de excelência da indústria corticeira sendo a maior parte da produção de rolhas para vinho. Estas rolhas são cilíndricas e caracterizadas pelo seu comprimento e diâmetro, podendo ter várias dimensões segundo os requisitos do utilizador; as mais usuais possuem 24 mm de diâmetro e 38 ou 45 mm de comprimento.

As rolhas de cortiça natural são classificadas e comercializadas por classes de qualidade de acordo com a extensão da porosidade e de outras heterogeneidades da cortiça presentes nos seus topos e superfície lateral do corpo (Fortes *et al.*, 2004). Na classificação generalizada é frequente encontrar as categorias definidas com os seguintes nomes, segundo critérios visuais: Flor; Extra; Superior; 1º; 2º; 3º; 4º; 5º (APCOR, 2004).

Todas as pranchas de cortiça amadia com espessura superior a 27 mm (calibre meia-marca) são direccionadas para o fabrico de rolhas que segue o fluxograma industrial apresentado na Figura 13.

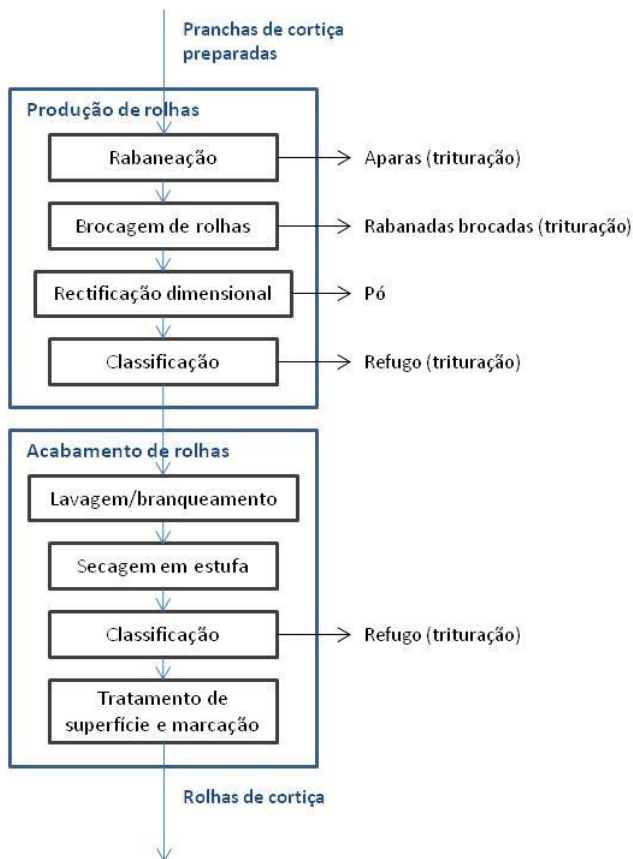


Figura 13. Fluxograma geral da produção industrial de rolhas de cortiça natural a partir de pranchas de cortiça preparadas

Fonte: Fortes *et al.*, 2004

O fabrico de rolhas de cortiça natural começa com operações de corte, primeiro a *rabaneação*, onde as pranchas de cortiça são cortadas transversalmente em tiras com uma largura ligeiramente superior (1-2 mm) ao comprimento da rolha a fabricar, e depois a *brocagem*, às quais se seguem operações de ajustamento das dimensões da rolha, isto é, de comprimento (*topejamento*) e de secção (*rectificação*) (Fortes *et al.*, 2004).

A brocagem das rolhas é realizada transversalmente nas rabanadas através de um processo manual, semi-automático ou automático que consiste em perfurar as tiras de cortiça com uma broca, obtendo-se uma rolha cilíndrica em conformidade com os limites dimensionais desejados. As rabanadas brocadas, designadas por *aparas de broca*, constituem um subproduto da indústria rolheira e são aproveitadas para granulado de cortiça, matéria-prima para o fabrico dos aglomerados compostos (Fortes *et al.*, 2004).

Após a brocagem, a rectificação serve para obter as dimensões finais previamente especificadas e para regularizar a superfície da rolha. A classificação, vulgarmente designada por escolha, é uma operação destinada a separar as rolhas acabadas em classes de qualidade

diferenciadas através de controlo automático da superfície das rolhas e/ou através de escolha visual (Figura 14). Esta fase permite também a eliminação de rolhas com defeitos.



Figura 14. Operação de classificação: (a) escolha manual, (b) máquina de escolha óptica

Fonte: Copyright APCOR

As operações de acabamento das rolhas incluem a lavagem ou branqueamento, a secagem e a classificação. Posteriormente é frequente ocorrerem tratamentos superficiais e marcação por impressão com tinta ou a fogo (Fortes *et al.*, 2004).

A lavagem ou branqueamento pode ser feita utilizando água oxigenada ou ácido paracético e tem como objectivo a limpeza e desinfecção das rolhas, conferindo-lhes simultaneamente um aspecto mais uniforme e uma cor mais clara. Após este processo, o teor de humidade é estabilizado (humidade final de 5-8%), obtendo-se uma optimização da performance da rolha como vedante e reduzindo, em simultâneo, a contaminação microbiológica (APCOR, 2009b).

Eventualmente, as rolhas poderão ser colmatadas, consistindo este processo na obturação dos poros na superfície das rolhas com uma mistura de pó de cortiça resultante da rectificação das rolhas naturais. A colmatagem serve para melhorar a apresentação das rolhas que possuam muitos canais lenticulares e para obter uma melhor vedação (APCOR, 2009b).

A operação de marcação ou *branding* é realizada de acordo com as indicações do cliente para o tipo de marca a aplicar, podendo ser impressão a tinta (de qualidade alimentar) ou marcação a fogo. Depois da marcação, trata-se a superfície da rolha com parafina ou silicone para facilitar quer a sua introdução na garrafa, quer a sua posterior extracção pelo consumidor final (APCOR, 2009b).

Quando finalizada a produção, as rolhas são embaladas em sacos de plástico repletos de SO₂ (anidrido sulfuroso), um gás inibidor do desenvolvimento microbiológico, estando finalmente preparadas para serem transportadas até ao engarrafador de vinhos ou de bebidas espirituosas (APCOR, 2009b).

2.4. A qualidade da cortiça

A rolha de cortiça é o único material vedante de vinho que é natural, renovável, reutilizável e totalmente reciclável. O único cujas propriedades físicas, mecânicas e químicas oferecem uma qualidade de vedação compatível com as rigorosas exigências da moderna indústria vinícola. Por isso, é o vedante que ocupa o lugar mais destacado nas preferências dos consumidores, constituindo o melhor indicador de qualidade de um vinho (APCOR, 2004).

A procura crescente por qualidade nos produtos naturais tem sido uma questão importante no sector da cortiça, tendo provocado investimentos recentes em modernas tecnologias, nomeadamente, as relacionadas com sistemas de controlo de qualidade mais eficientes.

2.4.1. Pranchas de cortiça

Na indústria, as pranchas de cortiça amadia são classificadas atendendo ao seu calibre (espessura da prancha) e à sua qualidade, relacionada com a homogeneidade e continuidade do tecido suberoso. Actualmente, a classificação da qualidade da cortiça está relacionada com a sua aptidão tecnológica para a produção de rolhas de cortiça e com o respectivo rendimento, tanto em quantidade como em qualidade das rolhas produzidas (Fortes *et al.*, 2004).

A espessura da prancha de cortiça é o primeiro e determinante factor para estabelecer a utilização da cortiça enquanto matéria-prima. As classes de calibre são estabelecidas tendo em consideração a sua adequação para posterior processamento. As classes de calibre mais adequadas ao fabrico de rolhas são as de 27-32 mm e 32-40 mm (respectivamente meia-marca e marca), porque permitem a brocagem das rolhas com melhores rendimentos quer em massa quer em qualidade (Pereira, 2007).

As pranchas de cortiça são classificadas comercialmente em diferentes classes de qualidade. Esta avaliação é realizada por análise visual da secção transversal e radial assim como da superfície da barriga. O primeiro critério de qualidade relaciona-se com a porosidade, resultante principalmente da presença de canais lenticulares, quer em número quer em área. O segundo critério encontra-se relacionado com a presença de defeitos estruturais, quer de origem natural como inclusões de tecido lenhificado, quer provocadas por factores exteriores à árvore como cavidades de insectos (Pereira, 2007).

Porosidade

Todas as cortiças apresentam canais lenticulares, que atravessam a prancha na direcção radial, desde a costa até à barriga, perpendiculares aos anéis de crescimento anual. Os canais lenticulares têm origem nas lentículas, que ocorrem em número muito variável, existindo referência a valores entre 20 e 200 lentículas por 100 cm² de barriga de prancha. O número de

lentículas também varia muito entre árvores, sendo em geral menor em cortiças delgadas, e dentro da mesma árvore, geralmente menor na parte superior do tronco e dos ramos (Fortes *et al.*, 2004).

Quando observados na secção transversal, os canais lenticulares aparecem como linhas, mais ou menos finas, atravessando radialmente a prancha de cortiça. As secções radiais da cortiça possuem uma aparência idêntica às secções transversais dado que os canais lenticulares são seccionados da mesma forma. Por outro lado, na superfície tangencial os canais lenticulares são seccionados perpendicularmente ao seu eixo de desenvolvimento aparecendo com uma forma aproximadamente circular. A grande maioria dos canais lenticulares é alongada verticalmente em secção, o que resulta em poros na secção radial de dimensões maiores aos visualizados na secção transversal (Pereira, 2007).

A porosidade de uma cortiça é avaliada através da fracção de área ocupada pelos poros em amostras representativas de secções das pranchas de cortiça e pode ser expressa como um coeficiente de porosidade, definido como a área de poros em percentagem da área total analisada. As técnicas de análise de imagem permitem quantificar e caracterizar dimensionalmente os poros, que se diferenciam da massa de cortiça envolvente devido à sua cor mais escura (Fortes *et al.*, 2004).

A classificação da cortiça pelas várias classes de qualidade é actualmente feita manualmente por um operador, o que torna o processo bastante subjectivo. No entanto é possível efectuar a mesma classificação utilizando critérios objectivos baseados em análise de imagem das superfícies transversais e radiais das pranchas, dado que as classes de qualidade se distinguem pelas características médias da porosidade que apresentam (Fortes *et al.*, 2004).

Diversos estudos investigaram a utilização de análise de imagem para a determinação e quantificação da porosidade em pranchas de cortiça (Gonzalez-Adrados e Pereira, 1996; Pereira *et al.*, 1996; Gonzalez-Adrados *et al.*, 2000), em discos de cortiça (Lopes e Pereira, 2000) e em rolhas de cortiça (Costa e Pereira, 2005, 2006, 2007, 2009).

As pranchas de cortiça de diferentes classes de qualidade apresentam diferenças no seu coeficiente de porosidade, número de poros, dimensão média ou dimensão do maior poro e, regra geral, as cortiças de melhor qualidade apresentam, na secção tangencial, menores valores quer da porosidade quer do número e tamanho dos poros (Pereira *et al.*, 1996).

Na secção transversal e na secção radial das pranchas de cortiça, os poros aparecem como canais desenvolvendo-se na direcção radial. Comparativamente com a secção tangencial,

existe menor número de poros por unidade de área e a dimensão média dos poros é maior (Pereira, 2007).

O coeficiente de porosidade pode ser utilizado para classificar as pranchas de cortiça: as pranchas de cortiça de boa qualidade deverão ter um coeficiente de porosidade inferior a 6%, e as pranchas de cortiça de média qualidade deverão ter porosidade inferior a 10% (Pereira, 2007). As características dimensionais e de forma dos objectos observados nas imagens podem ser utilizados para identificar e diferenciar outros defeitos como as galerias de insectos (Gonzalez-Adrados e Pereira, 1996; Gonzalez-Adrados *et al.*, 2000).

Defeitos

Os defeitos estruturais que poderão estar presentes nas cortiças podem ser agrupados em descontinuidades, inclusões de outros tecidos e manchas, e a presença de regiões com elevada concentração de água. Estes defeitos podem desvalorizar as pranchas de cortiça ou mesmo, nos piores casos, desqualificá-las para a produção de rolhas de cortiça natural (Pereira, 2007).

Uma descontinuidade que pode aparecer é designada por «bofe» e é visualizada como uma bolsa vazia na prancha de cortiça derivada de uma fractura radial do tecido suberoso. Estas descontinuidades podem ter dimensões consideráveis, tendo sido reportado uma área média de 32 mm² em secção transversal e 26 mm² em secção tangencial (Gonzalez-Adrados *et al.*, 2000). É um defeito associado usualmente a cortiças de rápido crescimento, desvalorizando-as e tornando-as impróprias para a produção de rolhas.

Outro defeito que pode ocorrer é vulgarmente designado por «ano-seco» e corresponde a uma descontinuidade na ligação entre os anéis de crescimento anuais. A zona da cortiça com este plano tangencial de descontinuidade do tecido suberoso é inadequada para a produção de rolhas (Fortes *et al.*, 2004).

Os sobreiros podem também ser atacados por insectos que desenvolvem galerias na cortiça, nomeadamente, a formiga (*Crematogaster scutellaris* Ol.) e a larva da cobrilha-da-cortiça (*Coroebus undatus* F.). As áreas das pranchas de cortiça com ataques de insectos são inadequadas para a produção de rolhas (Pereira, 2007). As galerias da formiga quando vistas em secção transversal apresentam-se aproximadamente circulares com dimensão média de 13 mm² enquanto na secção tangencial apresentam dimensão média de 48 mm² (Gonzalez-Adrados *et al.*, 2000). Por sua vez, a larva da cobrilha-da-cortiça escava galerias que se desenvolvem axial e tangencialmente na prancha de cortiça, na zona do anel correspondente ao ano de ataque (Pereira, 2007). Estas galerias têm secção transversal aproximadamente

elíptica com uma dimensão média de 25,5 mm² enquanto na secção tangencial apresentam uma área média de 122,5 mm² (Gonzalez-Adrados *et al.*, 2000).

Outro defeito de ocorrência frequente, e designado por «prego», é a inclusão de formações esclerenquimatosas, quer originadas pelo felogénio, quer provenientes da incorporação de tecido cortical de raios liberinos no tecido suberoso. Apesar de normalmente aparecer com pequenas dimensões sem significado, por vezes pode ocorrer com dimensão considerável, inviabilizando o fabrico de rolhas por poderem aparecer dificuldades durante o engarramento (Pereira, 2007). Gonzalez-Adrados *et al.* (2000) reportam dimensões médias de 18 mm² e 13 mm² respectivamente quando visualizado em secção transversal e tangencial.

Podem aparecer ocasionalmente na cortiça manchas derivadas de ataques microbiológicos, nomeadamente, «mancha-amarela» e «marmoreado». A mancha-amarela designa zonas da cortiça de cor acinzentada e descoloração do tecido adjacente provocada por ataques de *Armillaria mellea* (Vahl. Ex Fr.), que lhe dão um odor a bolor. O marmoreado consiste no aparecimento de uma coloração azulada provocada pelo fungo *Melophia opiospora* Sacc. (Fortes *et al.*, 2004). Em ambos os casos inviabilizam a utilização da cortiça para o fabrico de rolhas, dada a possibilidade de contaminação do vinho com odores e gostos.

O «verde» é um dos mais importantes defeitos da cortiça se não for detectado antes do processamento, e relaciona-se com a ocorrência de regiões na prancha de cortiça com elevado teor de humidade (400-500%) rodeadas por cortiça com teor de humidade normal (aproximadamente 6-8%, quando seca ao ar). A secagem das zonas de cortiça verde é muito mais lenta do que a da cortiça normal circundante e sofrem uma contracção de cerca de 30% do seu volume inicial, o que inviabiliza a sua utilização para o fabrico de rolhas, uma vez que estas não iriam desempenhar em perfeitas condições a sua função de vedação (Fortes *et al.*, 2004).

2.4.2. Rolhas de cortiça

As rolhas de cortiça natural são brocadas de rabanadas cortadas transversalmente das pranchas de cortiça (Figura 15). Portanto a direcção de perfuração, correspondente ao eixo da rolha, é axial, o que implica que os topos circulares correspondem às secções transversais da prancha de cortiça, onde os canais lenticulares atravessam a superfície como traços finos perpendiculares aos anéis de crescimento; e a superfície lateral do corpo cilíndrico contém duas secções tangenciais e duas secções radiais, respectivamente paralelas e perpendiculares aos anéis de crescimento, assim como todas as secções intermédias entre elas; portanto o

aspecto dos canais lenticulares varia entre aproximadamente circular nas secções tangenciais e uma forma alongada horizontalmente nas secções radiais (Pereira, 2007) (Figura 16).

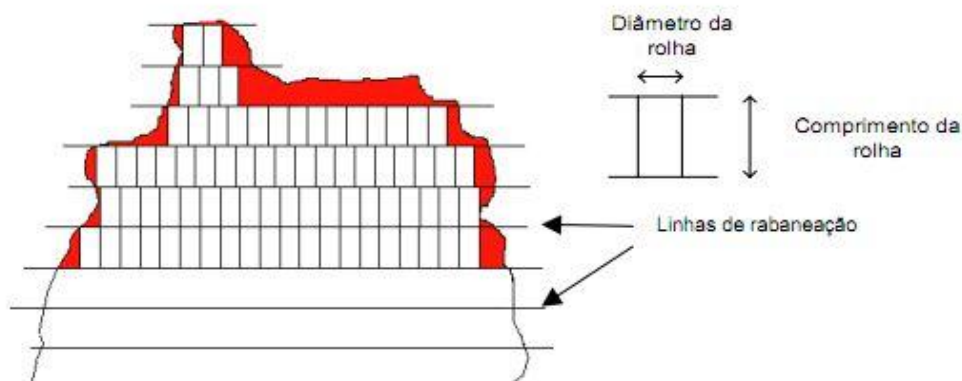


Figura 15. Esquema teórico de utilização de uma prancha de cortiça para a produção de rolhas. A zona a vermelho corresponde à área de aparas de recorte

Fonte: Costa e Pereira, 2004

Tal como as pranchas de cortiça, as rolhas de cortiça natural são classificadas em classes de qualidade em função da homogeneidade da sua superfície exterior. Todas as discontinuidades e defeitos que aparecem nas pranchas de cortiça, e apresentados anteriormente, também podem ser encontrados nas rolhas.

Alguns dos defeitos apresentados anteriormente podem ser suficientes para tornar uma rolha inadequada para as suas funções como vedante de vinho, nomeadamente, a presença de galerias de insectos, mancha-amarela ou verde. Podem ainda aparecer defeitos derivados do processo de brocagem, como a inclusão de porções de costa ou barriga. No entanto, o sistema de classificação das rolhas nas diversas classes de qualidade baseia-se essencialmente na extensão da porosidade existente na sua superfície (Pereira, 2007).

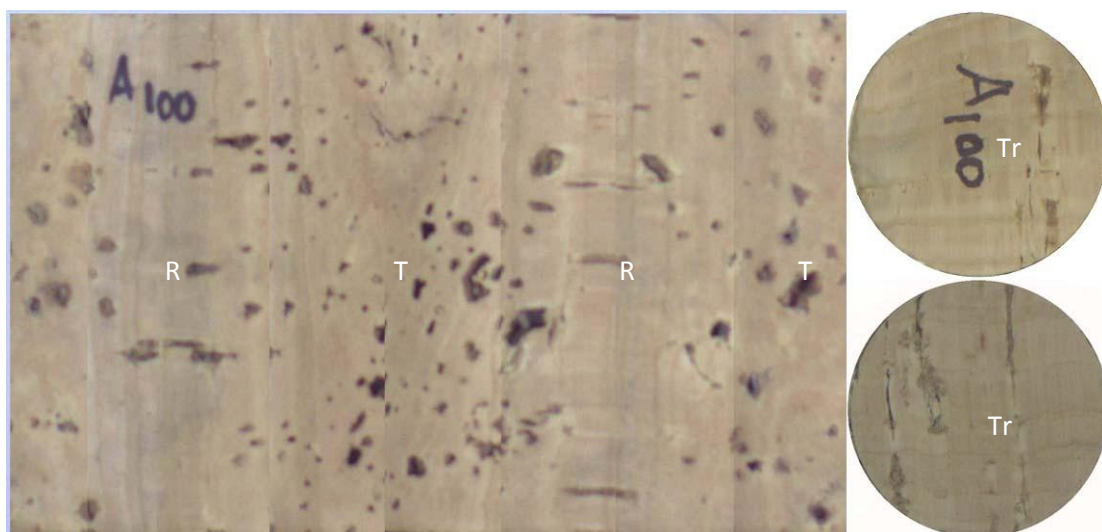


Figura 16. Fotografias da superfície de uma rolha de cortiça, incluindo os dois topos circulares e a totalidade da superfície lateral com as diversas secções (T – tangencial, R- radial, Tr - transversal)

O Cork Quality Council estabeleceu um sistema de classificação simplificado de forma a fornecer uma terminologia comum na definição das classes visuais de rolhas de vinho (Figura 17). A classe de qualidade A (Figura 17 a) representa as rolhas de alta qualidade visual com superfície excelente, em que todos os poros têm dimensão inferior a 2 mm², sem fendas horizontais, abertas e grandes, em que as fendas originadas nas extremidades não excedem 11% do comprimento da cortiça e as presentes no corpo são inferiores a 18% do comprimento, sem canais de insectos, inclusões de tecido lenhificado, barriga ou verde e em que a presença de vários canais lenticulares é aceitável se se encontrarem livres de poeira e partículas.

A classe de qualidade B representa rolhas com boa aparência visual onde não existem poros com área superior a 5 mm², em que as fendas originadas nas extremidades não excedem 18% do comprimento da cortiça e as presentes no corpo são inferiores a 25% do comprimento, as fendas horizontais não devem abrir-se quando as extremidades das rolhas são dobradas, sem verde e vestígios laterais de actividade de insectos (no centro da cortiça pode ser aceitável vestígios de canais de insectos), a presença de canais lenticulares nas extremidades não deve ser grande ou profunda e deve ser livre de poeira e partículas (Figura 17 b).

Por último, a classe de qualidade C (Figura 17 c) representa rolhas de aparência mediana, com uma ou mais grandes falhas visuais, podendo ser esteticamente desagradáveis mas funcionais. Não poderão ter rachas, poros, inclusões de tecido lenhificado ou barriga superior a 55% do comprimento da cortiça. Os canais lenticulares e fendas horizontais existentes no corpo poderão abrir quando as extremidades das rolhas são dobradas. São aceitáveis manchas de verde, cavidades de insectos e anos secos inclusos até 55% do comprimento da cortiça a não ser que possuam grande profundidade e largura. Pode existir muita porosidade mas não contínua.

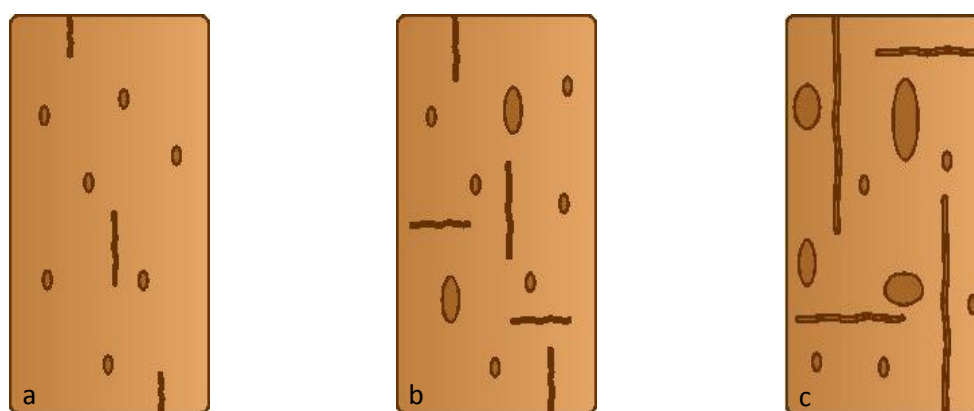


Figura 17. Sistema simplificado para classificação da qualidade da cortiça em três grandes classes: (a) Classe de qualidade A, (b) Classe de qualidade B e (c) Classe de qualidade C

Fonte: Cork Quality Council, 2004.

Actualmente, a avaliação da qualidade comercial das rolhas de cortiça natural é feita por análise visual da superfície exterior (corpo e topos) com sistemas automatizados baseados em algoritmos empíricos com os resultados da análise de imagem da superfície. Só em determinados lotes de rolhas, em que são exigidos elevados padrões de qualidade, é que é efectuada uma inspecção manual às rolhas após a inspecção automática. O processo de selecção actual não permite classificar objectivamente as rolhas de cortiça natural nas diversas classes de qualidade, não só dada a diversidade e variabilidade de defeitos que influenciam a qualidade da cortiça, mas também dado o elevado número de classes de qualidade existentes.

O sistema de classificação de qualidade tradicional é composto por nove classes de qualidade: flor, extra, superior, 1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª e 6ª. As rolhas de boa qualidade (flor, extra e superior) apresentam poucos poros e de pequena dimensão, enquanto as rolhas de menor qualidade (5ª e 6ª) apresentam muitos poros e maiores.

Só recentemente, através da análise do corpo e topos das rolhas de cortiça, se procedeu à descrição quantitativa das características da porosidade representativas das diferentes classes de qualidade desde extra até 5ª classe (Costa e Pereira, 2005, 2006, 2007, 2009).

O estudo das características da porosidade da superfície de rolhas de cortiça de diferentes classes de qualidade através de análise de componentes principais e análise discriminante mostrou que as principais variáveis explicativas da determinação das classes são o coeficiente de porosidade e as dimensões máximas dos poros, enquanto que quando considerando os topos a variável número de poros também aparece como relevante (Costa e Pereira, 2006, 2009). No entanto, a discriminação nas sete classes de qualidade mostra-se difícil e sem relevância prática. Costa e Pereira (2005, 2007) mostram que uma classificação apenas em três classes de qualidade (excelente, boa e média) estará mais adaptada à realidade e aos requerimentos de performance.

3. Material e Métodos

O material utilizado neste trabalho é composto por um lote de 300 rolhas de cortiça natural de dimensão 24 mm x 45 mm (diâmetro x comprimento) proveniente do projecto QREN InCork, em curso, coordenado pela Amorim & Irmãos e em que o CEF é parceiro.

3.1. Material

O lote de 300 rolhas de cortiça natural analisado foi produzido industrialmente a partir de pranchas da classe de calibre 20 a 24 linhas (1 linha=2,256 mm), isto é, entre 45,12 mm e 54,14 mm. O lote de rolhas de cortiça natural não foi submetido a processo de lavagem e a tratamento de superfície.

As rolhas de cortiça natural foram classificadas em classes de qualidade em função da homogeneidade da sua superfície exterior. A classificação foi realizada primeiramente com recurso a máquinas classificadoras de escolha automática que, por diferença de cor dos poros em relação à massa de cortiça, quantificam o grau de porosidade e alguns parâmetros dos poros, utilizando programas de análise de imagem. Dadas algumas limitações destas máquinas classificadoras realizou-se posteriormente uma classificação manual final das rolhas pré-escolhidas para afinar a classe.

No âmbito do projecto Incork fez-se o agrupamento de seis classes comerciais da classificação da rolha de cortiça natural em três classes de qualidade: Extra e Flor; Superior e 1ª e 2ª e 3ª. Para cada uma destas classes de qualidade objecto de estudo seleccionaram-se aleatoriamente 100 rolhas.

A Figura 18 apresenta como exemplo para cada uma das três classes de qualidade e por ordem decrescente de qualidade uma imagem de uma das secções rectangulares do corpo e do topo da rolha (circular). Como se pode observar a classe Flor/Extra (Figura 18 a) apresenta uma superfície mais homogénea com poucos poros e/ou poros de pequena dimensão, enquanto as rolhas da classe de pior qualidade (2ª e 3ª) apresentam mais e maior porosidade (Figura 18 c). A classe de qualidade Superior/1ª possui características intermédias em relação às outras duas classes (Figura 18 b).

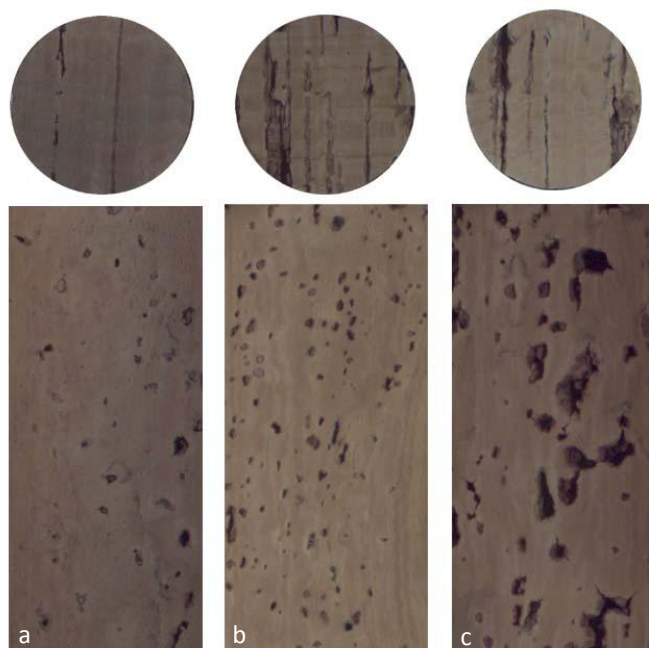


Figura 18. Exemplo de uma rolha (imagem do corpo e do topo) para cada uma das três classes de qualidade: (a) Flor/Extra, (b) Superior/1ª e (c) 2ª/3ª

3.2. Análise de imagem das rolhas

Para cada uma das 300 rolhas procedeu-se à aquisição de imagens da totalidade da superfície exterior do corpo cilíndrico e dos topos (bases circulares). O sistema de análise de imagem utilizado incorpora uma solução com captura digital de 7 mega pixéis em macro stand (câmara de vídeo ProgRes CapturePro 2.7 ligada a uma objectiva AF Nikkor 24 mm f2.8) e uma mesa de reprografia Kaiser RS1, com coluna de 89 cm, com sistema de iluminação de alta frequência (Kaiser RB 5004 HF), ligado a um computador que utiliza o *software* AnalySIS® (Analysis Soft Imaging System GmbH Münster, Alemanha, versão 3.1) para processamento da imagem (Figura 19).

Cada imagem foi adquirida para 12 rolhas simultaneamente utilizando a mesma intensidade luminosa em formato RGB. O modelo de cores RGB é um modelo aditivo no qual o vermelho (red), o verde (green) e o azul (blue) são combinados de várias maneiras para reproduzir outras cores. Cada cor é descrita pela indicação da quantidade de vermelho, verde e azul que contém, podendo variar entre 0 e 255.

Cada secção de cada rolha foi processada individualmente e a detecção dos poros foi efectuada utilizando duas Regiões de Interesse (Region Of Interest – ROI) predefinidas, uma rectangular com 45 mm de altura e 9,42 mm de largura (perfazendo uma área de 423,92 mm²) para as secções do corpo da rolha, e outra circular, com uma área de 433,92 mm², para os topos das rolhas.



Figura 19. Sistema de análise de imagem utilizado para a captura e processamento das imagens da superfície das rolhas

No corpo a visualização foi feita através da sobreposição de 8 imagens sucessivas. A primeira imagem (secção lateral A) foi efectuada perpendicular aos anéis de crescimento (observados no topo da rolha) e as subsequentes foram efectuadas rodando a rolha 45°, como se demonstra na Figura 20. Sabendo o modo como as rolhas de cortiça natural são cortadas das pranchas de cortiça após a sua rabaneação, os seus topos correspondem à secção transversal da cortiça, as secções A e E correspondem à secção tangencial e as secções C e G à secção radial da cortiça. As secções laterais B, D, F e H correspondem a secções intermédias (Figura 20).

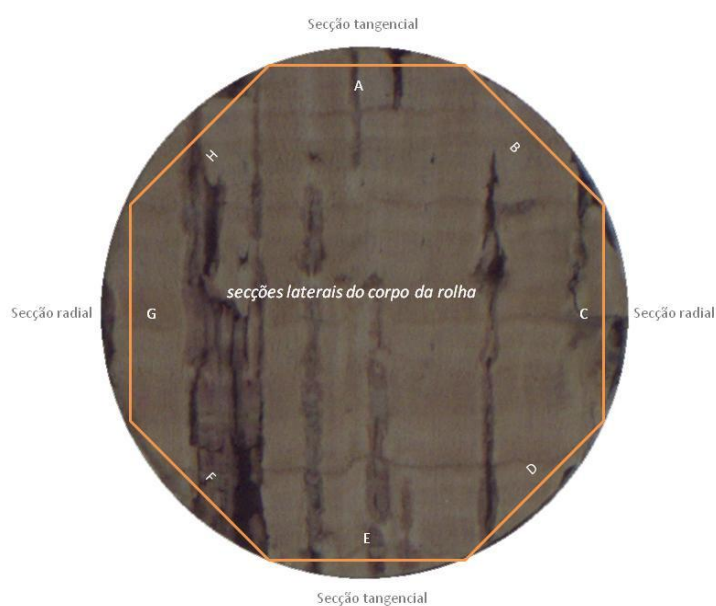


Figura 20. Ilustração da sequência de imagens efectuadas para análise da superfície exterior do corpo da rolha

As 8 imagens correspondem a 100% da área da superfície exterior do corpo cilíndrico da rolha. Foram também efectuadas 2 imagens para os dois topos circulares correspondendo a 96% da área total dos topos (Figura 21 a). A Figura 21 b mostra a imagem do corpo cilíndrico da rolha e respectivos topos com sobreposição do *layer* de detecção da porosidade. As diversas cores que se apresentam no *layer* são fornecidas automaticamente pelo *software* e relacionam-se com o factor de forma.

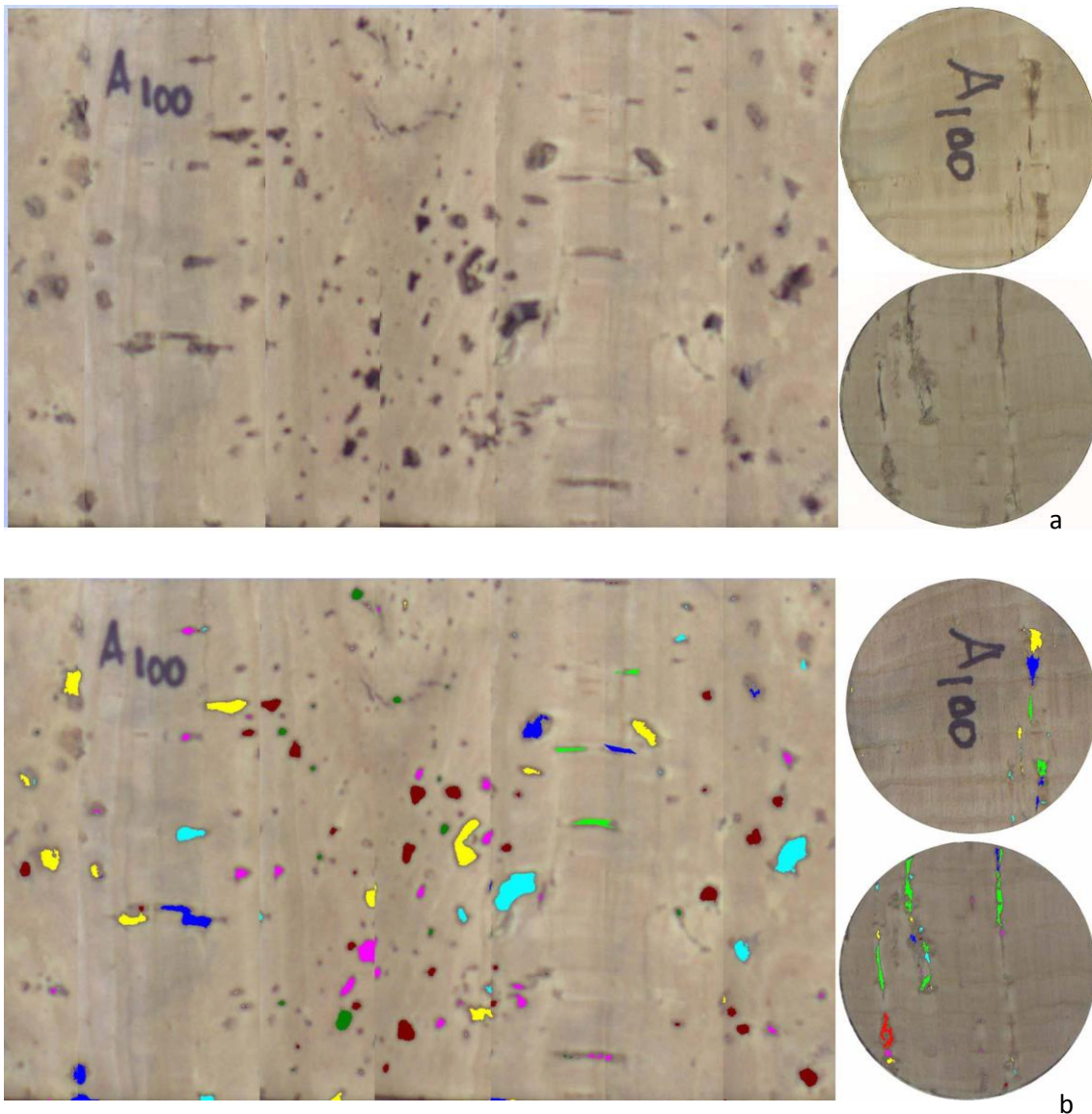


Figura 21. Superfície lateral do corpo (cilíndrica) e topos das rolhas (a), com a sobreposição de detecção de poros (b)

Foram utilizadas a mesma calibração e condições de iluminação para todas as rolhas, de forma a otimizar a manipulação dos *thresholds* para detecção dos poros na cortiça. Os factores de ampliação utilizados foram 0,42440 e 0,36151, respectivamente, para as secções do corpo da rolha e para os topos. Os *thresholds* para definição dos objectos (poros) foram ajustados

individualmente para cada imagem, variando entre 65 e 135 para o Vermelho (Red), entre 60 e 115 para o Verde (Green) e entre 65 e 120 para o Azul (Blue). Os *thresholds* ajustados reportados por Costa e Pereira (2009) para o mesmo fim são aproximadamente os seguintes: Vermelho 126-164; Verde 114-158 e Azul 118-161.

3.3. Análise de dados

Na imagem extraída os poros são medidos e caracterizados quantitativamente como objectos individuais, enquanto que uma área de observação pode ser caracterizada pelas características médias dos seus poros ou pela sua concentração (Pereira, 2007). Para cada poro identificado na Região de Interesse (ROI) de cada imagem recolheram-se diversas variáveis relacionadas com a dimensão, forma, posição e cor (Quadro 4).

As variáveis de dimensão incluem: área, perímetro, diâmetro e rectângulo. As variáveis de forma incluem: factor de forma, que mede a circularidade do poro, alongamento, esfericidade, convexidade e *aspect ratio*, como o máximo rácio entre a largura e a altura do rectângulo delimitador da partícula. As variáveis de cor incluem: vermelho, verde e azul (RGB) e matiz, saturação e intensidade (HSI) de cada partícula.

Os dados obtidos foram filtrados, tendo-se considerado apenas poros com dimensão superior a 0,1 mm² uma vez que porosidade inferior é tida como funcionalmente e esteticamente irrelevante, apenas contribuindo para uma maior variância e variabilidade da amostra (Gonzalez-Adrados e Pereira, 2000; Pereira *et al.*, 1996; Lopes e Pereira, 2000; Costa e Pereira, 2006, 2007, 2009). Estes poros de dimensão inferior a 0,1 mm² representam, em média, para as classes de qualidade Flor/Extra, Superior/1ª e 2ª/3ª os valores de 2,8%, 1,9% e 1,7% da porosidade total das rolhas, respectivamente, e 42,2%, 40,7% e 46,5% do número total de poros.

Para caracterizar uma amostra utilizaram-se tanto os valores médios como os máximos das variáveis acima indicadas. Com as variáveis listadas no Quadro 4 procedeu-se à determinação de diversos parâmetros, descritos em Costa e Pereira (2007), para caracterizar a porosidade da amostra, entre os quais: área total de poros (mm²); coeficiente de porosidade (%), definido como a área de poros em relação à área total; concentração, medida pelo nº de poros existentes em 100 mm²; nº total de poros, correspondendo à soma das partículas com área superior a 0,1 mm²; área do poro máximo (mm²); rectângulo médio (mm²); diâmetro médio (mm); valores médios para a esfericidade, convexidade, *aspect ratio*, alongamento e factor de forma; valores médios de vermelho, verde e azul (RGB) e matiz, saturação e intensidade (HSI).

Quadro 4. Listagem e descrição das variáveis medidas através de análise de imagem

Classe	Variável	Descrição
Dimensão	Área	Área do poro (mm ²)
	Perímetro	Soma dos pixéis de distância ao longo da fronteira fechada (mm)
	Perímetro convexo	Perímetro da cobertura convexa da partícula (mm)
	Rectângulo máximo, médio e mínimo	Área do rectângulo máximo, médio e mínimo cujos lados consiste nas tangentes à partícula (mm ²)
	Diâmetro máximo, médio e mínimo	Diâmetro máximo, médio e mínimo de uma partícula para ângulos entre 0º e 179º com passo de 1º (mm)
Forma	Factor de forma	Proporciona informação sobre a circularidade da partícula, se a partícula for esférica terá factor de forma igual a 1 $4\pi(\text{área}/\text{perímetro}^2)$
	Alongamento	Considerada como a falta de circularidade
	Esfericidade	Descreve a esfericidade ou circularidade de uma partícula utilizando os momentos centrais (terá valor 1 para uma partícula circular)
	Convexidade	Fracção da área da partícula e da área da sua cobertura convexa
	<i>Aspect ratio</i>	Máximo rácio entre a largura e a altura do rectângulo delimitador da partícula
Posição	Orientação	Ângulo entre a linha correspondente ao momento máximo da nuvem de pontos que descreve a partícula e o eixo X
	Proj. X	Distância máxima de todos os pontos de contorno na direcção horizontal projectada no eixo X
	Proj. Y	Distância máxima de todos os pontos de contorno na direcção vertical projectada no eixo Y
	Centro gravidade X e Y	Coordenada X e Y do centro de gravidade. Assume-se que a partícula é de densidade homogénea
Cor	RGB	Valor médio das intensidades de vermelho (Red), verde (Green) e azul (Blue) na partícula
	HSI	Média dos valores de matiz (Hue), saturação (Saturation) e intensidade (Intensity) para a partícula

Todos os valores foram calculados para cada região de interesse (ROI), tendo-se obtido a caracterização de todas as secções laterais dos corpos das rolhas e dos dois topos. Foi também determinada a distribuição da porosidade nas várias secções da superfície lateral do corpo das rolhas (ROI) por classe de orientação. A partir dos valores calculados para cada região de

interesse foram calculadas as variáveis caracterizadoras das rolhas para o corpo e os topos separadamente.

De forma a caracterizar cada classe de qualidade calcularam-se, para cada uma, os valores médios dos parâmetros das 100 rolhas de cada classe.

3.4. Análise Estatística

Recorrendo ao *software* estatístico SPSS® (versão 17.0; SPSS Inc., Chicago IL) efectuaram-se diversas análises estatísticas descritivas, gráficas e inferenciais para caracterização detalhada da porosidade das rolhas, nomeadamente a caracterização das três classes de qualidade e a variação na superfície lateral das rolhas. Consideraram-se estatisticamente significativos todos os efeitos cujo *p-value* foi inferior ou igual a 0,05.

Para avaliar se os coeficientes de porosidade do corpo e dos topos das rolhas são significativamente diferentes entre as três classes de qualidade recorreu-se à ANOVA seguida dos testes *post-hoc* de Tukey e de Tamhane como descrito em Maroco (2007).

O pressuposto da distribuição normal dos coeficientes de porosidade do corpo das rolhas nas três classes de qualidade foi avaliado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov com correcção de Lilliefors, tendo-se obtido para todas as classes de qualidade $p > 0,1$ e, portanto, assumindo-se a normalidade das distribuições. A verificação do pressuposto de normalidade no caso do coeficiente de porosidade para os topos das rolhas revelou que apenas a classe Superior/1ª é que apresenta distribuição normal ($p > 0,05$). No entanto, a estatística *F* da ANOVA é considerada robusta a desvios deste pressuposto considerando-se que, para as classes Flor/Extra e 2ª/3ª, as distribuições não se apresentam extremamente enviesadas ou achatadas (Figura 22) e a dimensão da amostra é suficientemente grande ($n = 100$).

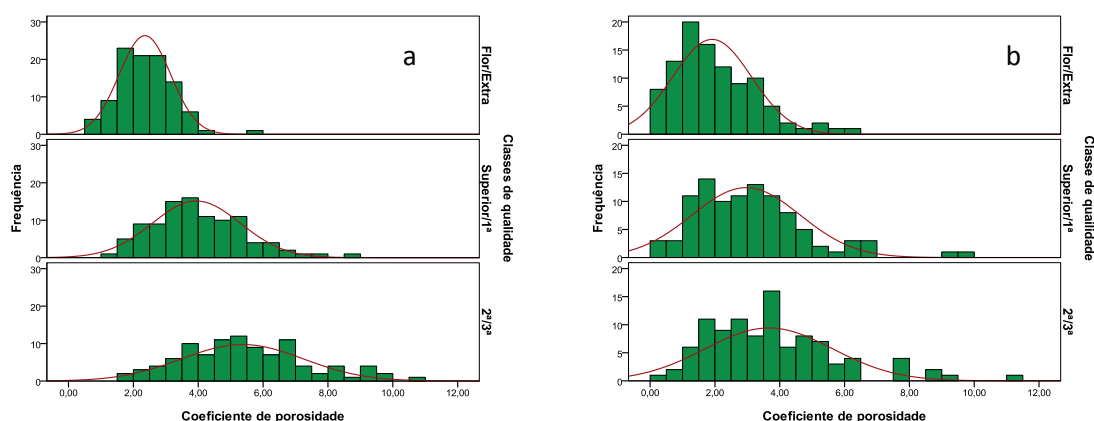


Figura 22. Histograma de frequências do coeficiente de porosidade do corpo (a) e do topo (b) das rolhas para cada classe de qualidade

O pressuposto da homogeneidade de variância (homocedasticidade) foi validado com o teste de Levene, verificando-se a sua violação tanto para o corpo como para os topos das rolhas. No entanto, considerou-se que a estatística do teste é robusta dado que a dimensão das classes de qualidade é igual (*design* balanceado).

De forma a conseguir apurar se existem diferenças na cor dos poros para o corpo das rolhas entre as classes de qualidade, procedeu-se a uma análise de variância multivariada (MANOVA). As estatísticas mais comuns para avaliar as hipóteses da MANOVA são: o Lambda de Wilks, o traço de Pillai, o traço de Hotteling e o método de Roy. Este último método é particularmente potente quando as variáveis estão fortemente intercorrelacionadas (Maroco, 2007). Uma vez que o SPSS não produz testes à normalidade multivariada, este pressuposto foi abusivamente validado com a normalidade univariada de cada uma das variáveis dependentes com testes univariados de Kolmogorov-Smirnov. De um modo geral, os métodos multivariados são robustos à violação deste pressuposto, especialmente quando a dimensão da amostra permite o recurso ao teorema do limite central (Tabachnick & Fidel, 1996 citado por Maroco, 2007). O pressuposto da homogeneidade de variâncias-covariâncias em cada grupo foi avaliado com o teste *M* de Box. Este teste é particularmente sensível à violação do pressuposto da normalidade, mas dado que temos um *design* balanceado considera-se que a MANOVA é robusta à violação da homogeneidade das matrizes de variâncias-covariâncias.

Para a caracterização da superfície lateral das rolhas procederam-se a diversas ANOVA *two-way* seguidas do teste *post-hoc* HSD de Tukey para determinação do efeito que cada um dos factores, “classe de qualidade” e “secção lateral do corpo”, possui sob as variáveis dependentes (coeficiente de porosidade, número total de poros e rectângulo médio). O pressuposto da normalidade das variáveis dependentes nos diferentes grupos definidos pelo cruzamento dos factores “classe de qualidade” e “secção lateral do corpo” foi avaliado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov com correcção de Lilliefors e o pressuposto da homogeneidade de variância foi validado com o teste de Levene. Considerou-se que, de uma forma geral, a estatística *F* da ANOVA é robusta à violação do pressuposto de normalidade da distribuição dado a distribuição dos dados não ser extremamente enviesada nem achatada e ter dimensão considerável ($n=100$). Uma vez que o nosso *design* é balanceado (dimensão igual entre grupos) considerou-se que a estatística do teste é robusta e permite a aplicação da ANOVA.

Para descobrir quais as características visuais da superfície do corpo e topos das rolhas que distinguem as rolhas de uma determinada classe de qualidade, de modo a que, conhecidas as características de uma nova rolha, se possa prever a que classe de qualidade pertence, recorreu-se a uma Análise Discriminante *stepwise* com o método do Λ de Wilks. Esta técnica

de estatística multivariada tem como objectivos: (1) a identificação das variáveis que melhor diferenciam entre grupos de indivíduos estruturalmente diferentes e mutuamente exclusivos; (2) a utilização destas variáveis para criar um “índice” ou “função discriminante” que represente as diferenças entre grupos; e (3) a utilização desta função discriminante para classificar *a priori* novos indivíduos nos grupos (Maroco, 2007).

A análise discriminante tem como pressupostos as amostras provirem de uma população normal multivariada com matrizes de variância-covariância de cada grupo homogéneas e nenhuma das variáveis pode ser combinação linear de qualquer das outras.

Os pressupostos de normalidade e de homogeneidade das matrizes de variância-covariância de cada classe foram testados, respectivamente, com o teste de Tukey e o teste *M* de Box, este último especialmente sensível à dimensão das amostras. A análise discriminante é uma técnica bastante robusta à violação dos pressupostos desde que a dimensão do menor grupo ($n=100$) seja superior ao número de variáveis ($n=17$) em estudo e que as médias dos grupos não sejam proporcionais às suas variâncias, o que se verifica.

O método discriminante *stepwise* começa por seleccionar as variáveis que mais contribuem para a distinção entre classes de qualidade e, em seguida, vai incluindo e/ou retirando variáveis nas funções discriminantes, uma a uma, de acordo com o método do Λ de Wilks (Reis, 2001).

4. Resultados e Discussão

4.1. Caracterização das classes de qualidade das rolhas

O Quadro 5 apresenta os valores médios e respectivo desvio padrão das variáveis independentes que caracterizam o corpo e os topos das rolhas das três classes de qualidade consideradas. As variáveis caracterizadoras da dimensão e concentração da porosidade apresentam diferenças entre as várias classes de qualidade, verificando-se que a classe Flor/Extra apresenta menos e menores poros e as rolhas de 2ª/3ª apresentam valores correspondentes a uma maior porosidade. Em cada classe de qualidade, as rolhas apresentam grande variabilidade nas suas características constatada pelos desvios padrão apresentados. Esta variabilidade pode ser explicada não só pela variabilidade natural inerente ao material cortiça, mas também por se estar a tratar com classes de qualidade constituídas, cada uma, por duas classes de qualidade comerciais das rolhas. Costa e Pereira (2009) também encontraram grande variabilidade para a maioria das variáveis entre rolhas da mesma classe de qualidade.

Ao avaliar o corpo das rolhas, verifica-se que as variáveis caracterizadoras da dimensão (nº de poros, área total, rectângulo e diâmetro, médio e máximo, e área do poro máximo) e as variáveis de concentração (coeficiente de porosidade e concentração em 100 mm²) apresentam uma tendência crescente da melhor para a pior classe de qualidade. No entanto, as variáveis relacionadas com a forma dos poros (factor de forma, esfericidade, *aspect ratio*, convexidade e alongamento) apresentam valores idênticos nas três classes de qualidade. Por seu lado, as variáveis relacionadas com a cor dos poros (RGB e HSI) apresentam diferenças entre as classes de qualidade e verifica-se que a classe Flor/Extra apresenta uma maior heterogeneidade de valores.

O coeficiente de porosidade médio calculado para o corpo das rolhas é de 2,4%, 4,0% e 5,5% respectivamente, para as classes de qualidade Flor/Extra, Superior/1ª e 2ª/3ª (Quadro 5). Estes são valores com uma tendência e ordem de grandeza semelhantes a valores referenciados na bibliografia. Costa e Pereira (2007) apresentam coeficientes de porosidade de 1,6%, 4,6% e 7,4% para as classes de qualidade superior (inclui rolhas Extra, Superior e de 1ª), média (rolhas de 2ª e 3ª) e inferior (inclui rolhas de 4ª e 5ª). As mesmas autoras referem valores de coeficiente de porosidade do corpo das rolhas de 1,4% para a classe de qualidade Extra, de 2,1% e 2,3% para as classes Superior e 1ª, respectivamente, e de 4,2% e 4,5% para as classes de qualidade 2ª e 3ª (Costa e Pereira, 2009).

Quadro 5. Média e desvio padrão (nos parêntesis) das variáveis independentes para o corpo e topos das rolhas das três classes de qualidade

	Classes de qualidade		
	Flor/Extra	Superior/1ª	2ª/3ª
corpo			
Nº de poros	156(51)	190(60)	201(55)
Área total	80,5(28,3)	135,6(48,6)	184,9(65,8)
Rectângulo médio	1,3(0,5)	1,8(0,6)	2,4(0,8)
Rectângulo máximo	20,8(12,0)	39,4(25,4)	53,9(23,5)
Diâmetro médio	1,0(0,2)	1,2(0,2)	1,3(0,2)
Diâmetro máximo	5,6(1,7)	7,7(2,4)	8,9(2,1)
Área do poro máximo	5,7(2,8)	10,6(6,2)	16,1(8,8)
Factor de forma médio	0,5(0,0)	0,5(0,0)	0,45(0,0)
Esfericidade média	0,3(0,0)	0,3(0,0)	0,3(0,0)
<i>Aspect ratio</i> médio	2,0(0,3)	2,1(0,2)	2,1(0,1)
Convexidade média	0,8(0,0)	0,8(0,0)	0,8(0,0)
Alongamento médio	2,3(0,4)	2,4(0,2)	2,4(0,2)
Coeficiente de porosidade	2,4(0,8)	4,0(1,4)	5,5(1,9)
Concentração (np 100 mm ²)	4,6(1,5)	5,6(1,8)	5,9(1,6)
RGB::Vermelho médio	64,6(6,9)	74,4(2,9)	61,5(2,7)
RGB::Verde médio	50,2(7,9)	61,5(3,1)	46,0(2,6)
RGB::Azul médio	56,4(6,9)	65,8(2,4)	51,3(2,2)
HSI:: Matiz média	248,4(20,6)	220,4(22,6)	236,7(16,4)
HSI::Saturação média	22,5(4,0)	17,7(1,5)	25,4(2,0)
HSI::Intensidade média	57,1(7,2)	67,3(2,7)	52,9(2,4)
topos			
Nº de poros	22(10)	29(13)	30(11)
Área total	17,4(10,9)	26,8(15,5)	32,4(17,4)
Rectângulo médio	4,9(5,7)	5,9(5,5)	5,9(4,8)
Rectângulo máximo	58,3(55,4)	86,8(71,9)	89,7(70,5)
Diâmetro médio	2,0(1,0)	2,1(1,0)	2,1(0,8)
Diâmetro máximo	9,5(4,7)	11,7(5,4)	12,0(5,1)
Área do poro máximo	5,7(4,5)	9,0(6,8)	10,2(6,8)
Factor de forma médio	0,4(0,1)	0,3(0,1)	0,3(0,1)
Esfericidade média	0,2(0,1)	0,2(0,1)	0,2(0,1)
<i>Aspect ratio</i> médio	3,7(1,1)	3,6(1,2)	3,4(0,8)
Convexidade média	0,7(0,0)	0,7(0,0)	0,7(0,0)
Alongamento médio	4,8(1,7)	4,6(2,1)	4,3(1,1)
Coeficiente de porosidade	2,1(1,3)	3,1(1,8)	3,7(2,0)
Concentração (np 100 mm ²)	2,5(1,2)	3,3(1,5)	3,5(1,3)
RGB::Vermelho médio	63,5(5,3)	64,2(3,0)	61,2(10,1)
RGB::Verde médio	48,7(5,1)	49,9(3,3)	48,7(11,2)
RGB::Azul médio	54,0(3,5)	54,5(2,8)	53,3(9,0)
HSI:: Matiz média	238,1(33,3)	226,7(25,1)	219,0(52,2)
HSI::Saturação média	23,4(3,1)	22,3(2,7)	22,3(6,7)
HSI::Intensidade média	55,4(4,4)	56,2(2,9)	54,4(10,3)

Para além da variabilidade existente nas rolhas de cortiça e dos critérios da sua classificação de qualidade (Costa e Pereira, 2006, 2007, 2009) algumas das diferenças de valor podem ser

explicadas por, no presente trabalho, considerar-se poros com dimensão superior a 0,1 mm² enquanto Costa e Pereira em ambas as publicações referidas apenas consideram poros com dimensões superiores a 0,5 mm². A amostragem é também no presente trabalho de maior dimensão: 100 rolhas em cada lote quando nos trabalhos referenciados a análise foi feita com 24 rolhas para cada classe.

Procedeu-se à realização de uma ANOVA para averiguar se o coeficiente de porosidade é significativamente diferente entre as três classes de qualidade para o corpo das rolhas. A ANOVA permitiu concluir que, com uma probabilidade de erro de 5%, existem pelo menos duas classes de qualidade em que o coeficiente de porosidade é significativamente diferente ($p < 0,001$). De acordo com os testes *post-hoc* de Tukey e de Tamhane, existem diferenças estatisticamente significativas entre todas as classes de qualidade no caso do coeficiente de porosidade do corpo das rolhas ($p < 0,001$).

Para as três classes de qualidade, o nº médio total de poros encontrado foi de 156, 190 e 201 poros, correspondentes a uma área total média de 80,5 mm², 135,6 mm² e 184,9 mm², apresentando uma tendência crescente com a diminuição da qualidade (Quadro 5). Esta tendência é corroborada por Costa e Pereira (2007) onde para as classes de qualidade superior, média e inferior foram encontrados valores para o nº total de poros de, respectivamente, 23, 45 e 49 poros a que corresponde uma área total de 25,7 mm², 76,1 mm² e 122,9 mm².

A área do poro máximo é, em média, 5,7 mm², 10,6 mm² e 16,1 mm² para as três classes de qualidade trabalhadas (Quadro 5). Estes valores são similares aos apresentados por Costa e Pereira (2007) que referem 3,5 mm² para a classe superior e 25,5 mm² para a classe inferior. Em Costa e Pereira (2009), os valores apresentados variam entre 3,1 mm² para a classe Extra e 26,5 mm² para as rolhas de 5ª, sendo em média os valores apresentados de 5,7 mm² para Superior/1ª e de 10,1 mm² para uma classe constituída pelas rolhas de 2ª e 3ª.

Os poros de menor dimensão, entre 0,1 mm² e 0,5 mm², representam, em média, 23,7%, 15,9% e 11,6% da porosidade total das rolhas (Figura 23), respectivamente, para as classes de qualidade Flor/Extra, Superior/1ª e 2ª/3ª, representando, em média, 68,7%, 62,9% e 60,3% do número total de poros (Figura 24). Estes resultados ajudam a explicar a diferença de valores encontrados neste trabalho e apresentados por Costa e Pereira (2007) para as variáveis nº de poros e área total.

Por outro lado, os poros com dimensão superior a 5 mm² representam, em média, 8,2% para a classe Flor/Extra, 20,6% para a classe Superior/1^a e 33,0% para a classe 2^a/3^a, correspondendo apenas a 0,6%, 1,8% e 3,2% do número total de poros, respectivamente.

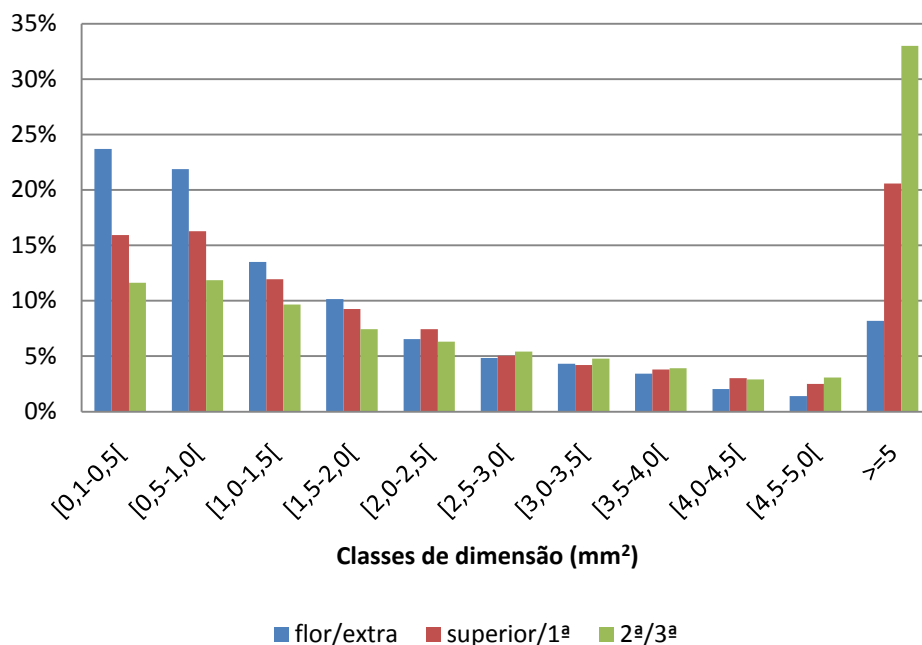


Figura 23. Distribuição percentual da porosidade do corpo das rolhas por classes de dimensão

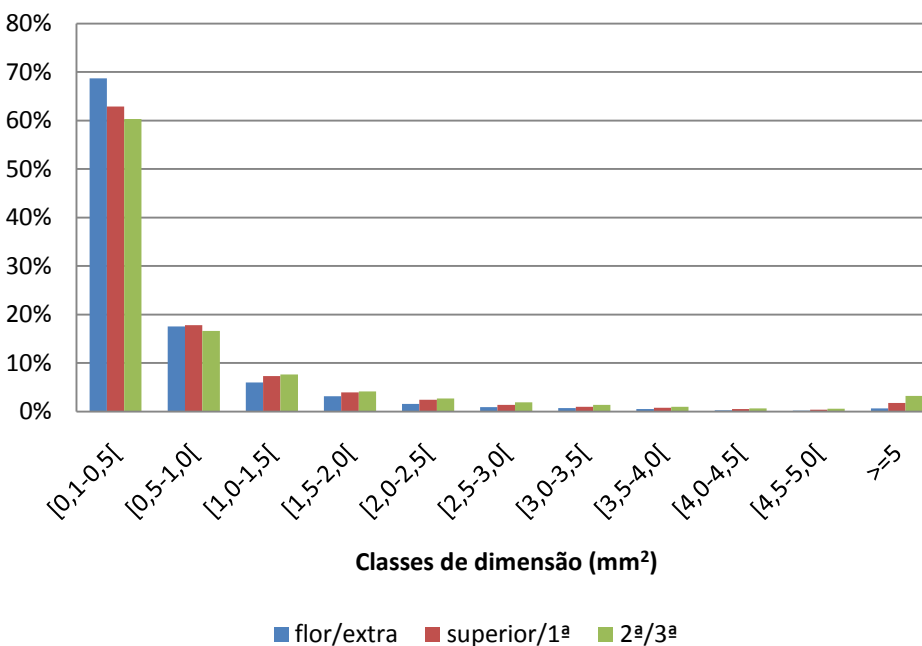


Figura 24. Distribuição percentual do número de poros do corpo das rolhas por classes de dimensão

Para a classe de qualidade Flor/Extra, verifica-se que mais de 69% da porosidade total das rolhas possui dimensão inferior a 2 mm^2 , correspondendo a 95,3% do número total de poros. Contrariamente, na classe 2ª/3ª os poros de dimensão inferior a 2 mm^2 apenas representam cerca de 40% da porosidade total, correspondendo a 88,6% do número total de poros.

Como referido anteriormente, os valores encontrados para as variáveis de forma são idênticos para as três classes de qualidade e entre corpo e topos. A constância destes valores já foi reportada por Gonzalez-Adrados e Pereira (1996) e por Costa e Pereira (2009).

Os resultados apresentados para os topos das rolhas apresentam a mesma tendência que os descritos para o corpo, verificando-se que as variáveis caracterizadoras da dimensão e as variáveis de concentração apresentam uma tendência crescente entre a classe Flor/Extra e a 2ª/3ª. No entanto, as variáveis relacionadas com a forma dos poros apresentam valores idênticos entre as três classes de qualidade. O coeficiente de porosidade calculado para os topos das rolhas é de 2,1%, 3,1% e 3,7% respectivamente, para as classes de qualidade Flor/Extra, Superior/1ª e 2ª/3ª (Quadro 5).

Estes resultados podem também ser comparados com estudos efectuados na superfície transversal de pranchas de cortiça (Pereira *et al.*, 1996), onde são reportados valores mínimos e máximos de coeficiente de porosidade entre 2,1% e 16,4% na secção transversal.

Também para o coeficiente de porosidade calculado para os topos das rolhas procedeu-se à realização de uma ANOVA para averiguar se será significativamente diferente entre as três classes de qualidade. A ANOVA permite concluir que, com uma probabilidade de erro de 5%, existem pelo menos duas classes de qualidade em que o coeficiente de porosidade é significativamente diferente ($p < 0,001$). De acordo com os testes *post-hoc* de Tukey e de Tamhane, as diferenças estatisticamente significativas para o coeficiente de porosidade dos topos das rolhas ocorrem entre a classe Flor/Extra e a Superior/1ª (I.C. a 95%]-1,572; -0,518[; $p < 0,001$) enquanto que as diferenças observadas entre a classe Superior/1ª e a 2ª/3ª são pouco significativas (I.C. a 95%]-1,294; -0,001[; $p = 0,049$).

A Figura 25 mostra-se particularmente útil para ilustrar as significâncias estatísticas encontradas com a ANOVA e os testes *post-hoc* e a ausência de interacção entre os factores classe de qualidade e corpo/topos. Como se pode observar, a tendência de aumento do coeficiente de porosidade da melhor para a pior classe de qualidade é semelhante quer no corpo quer nos topos das rolhas. Verifica-se para os topos um aumento do coeficiente de porosidade menos acentuado entre classes de qualidade, especialmente entre a classe Superior/1ª e a 2ª/3ª.

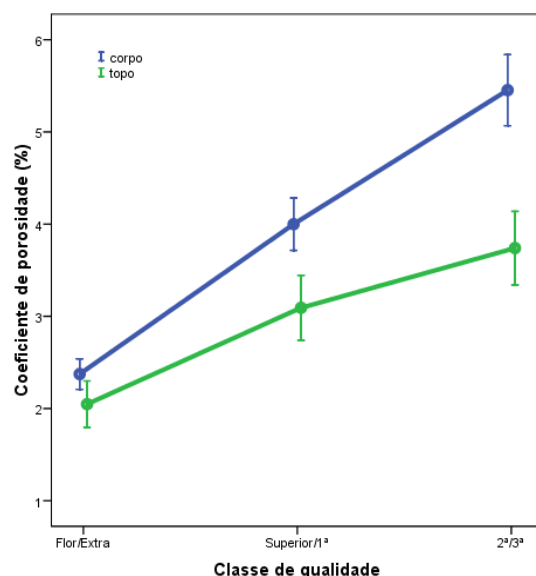


Figura 25. Variação do coeficiente de porosidade para o corpo e os topos [média (n=100) e intervalo de confiança de 95%]

De forma a conseguir apurar se existem diferenças na cor dos poros entre as classes de qualidade, procedeu-se a uma análise de variância multivariada (MANOVA) porque as três variáveis dependentes em estudo, vermelho (Red), verde (Green) e azul (Blue), se encontram fortemente correlacionadas entre si. A MANOVA revelou que a classe de qualidade tem um efeito estatisticamente significativo sobre a cor dos poros do corpo das rolhas (Maior Raiz de Roy = 1,988; $F(3,296) = 196,193$; $p < 0,001$; Potência = 1,000).

A ANOVA realizada para cada uma das variáveis dependentes permitiu concluir que, com uma probabilidade de erro de 5%, existem pelo menos duas classes de qualidade em que o vermelho (Red), verde (Green) e azul (Blue) são significativamente diferentes ($p < 0,001$). De acordo com os testes de Tukey e de Tamhane, existem diferenças estatisticamente significativas entre todas as classes de qualidade para as três variáveis consideradas ($p < 0,001$).

A Figura 26 ilustra os resultados apresentados no Quadro 5 e as diferenças estatísticas apresentadas, podendo observar-se que a classe Superior/1ª apresenta valores mais elevados e a classe de qualidade 2ª/3ª valores mais baixos para as três variáveis consideradas de cor dos poros. A classe de qualidade Flor/Extra apresenta valores médios de RGB intermédios e uma dispersão de valores muito maior que as restantes classes.

Em termos médios, as rolhas pertencentes a cada classe de qualidade podem ser descritas, e distinguidas entre si, segundo as características dos seus poros. As rolhas pertencentes às classes de qualidade Flor e Extra terão, na superfície lateral do seu corpo, um coeficiente de porosidade inferior a 2,4% com poros de dimensão inferior a 5,7 mm² e com mais de 70% da

porosidade com dimensão inferior a 2 mm^2 . Para as rolhas pertencentes à classe de qualidade Superior/1ª será espectável encontrar um coeficiente de porosidade inferior a 4% e a 3,1%, na superfície lateral do seu corpo e nos seus topos respectivamente, com poros até $10,6 \text{ mm}^2$ e $9,0 \text{ mm}^2$. As rolhas pertencentes às classes de qualidade 2ª e 3ª terão um coeficiente de porosidade até 5,5% com poros até $16,1 \text{ mm}^2$ e onde apenas cerca de 40% da porosidade terá dimensão inferior a 2 mm^2 .

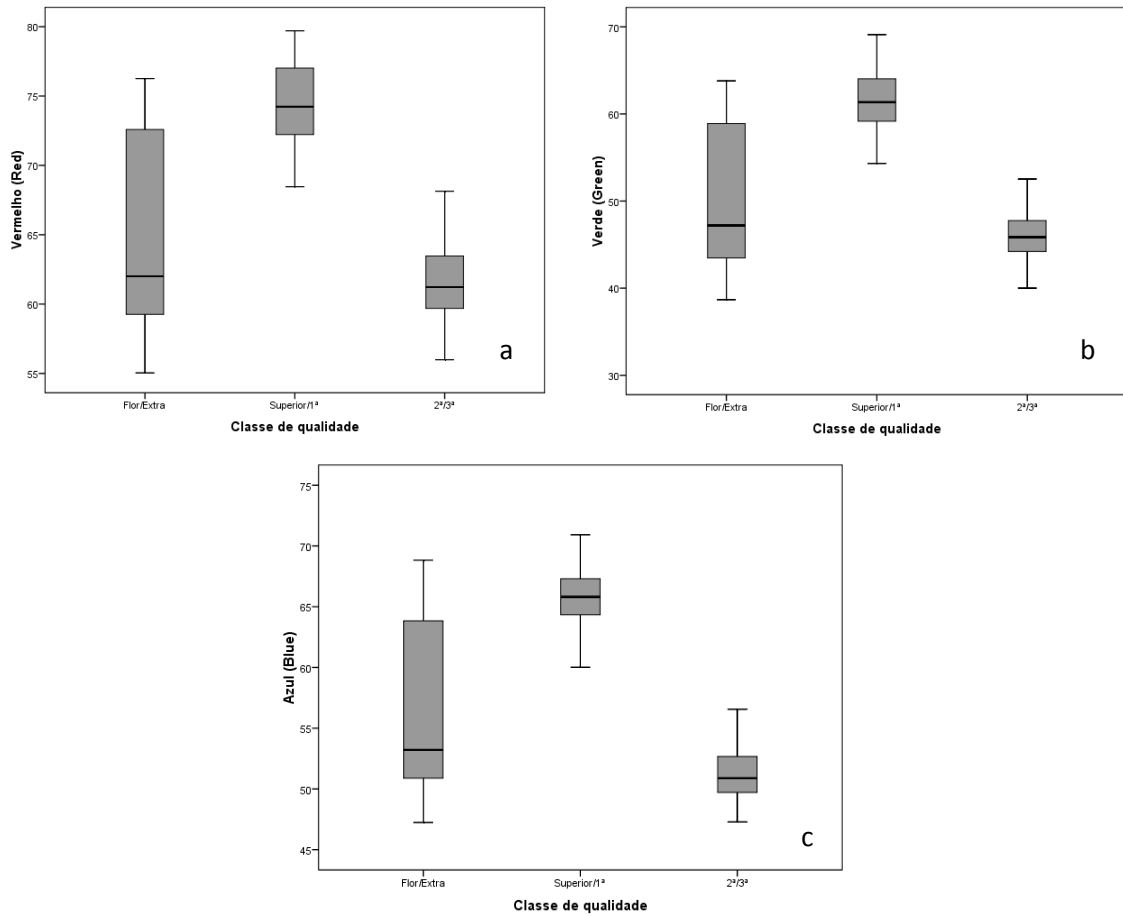


Figura 26. Diagramas de extremos e quartis das variáveis (a) Vermelho, (b) Verde e (c) Azul nas três classes de qualidade

4.2. Classificação das rolhas

Efectuou-se uma Análise Discriminante *stepwise* para identificar quais as características visuais da superfície do corpo e dos topos das rolhas que permitem discriminar significativamente as três classes de qualidade. Esta análise foi anteriormente utilizada por Costa e Pereira (2006, 2007, 2009) para separar e distinguir várias classes de qualidade, assim como para identificar os melhores parâmetros discriminantes.

A análise discriminante *stepwise* extraiu duas funções discriminantes, retendo como estatisticamente significativas as variáveis: azul (blue), vermelho (red), coeficiente de porosidade, diâmetro máximo e convexidade para o corpo, e vermelho (red), verde (green), azul (blue), concentração (np 100 mm²) e área total dos poros para o topo (Quadro 6).

Tanto Lopes e Pereira (2000) para a secção tangencial de discos de cortiça, como Gonzalez-Adrados *et al.* (2000) para a secção transversal de pranchas de cortiça, identificaram o coeficiente de porosidade como a variável com maior poder discriminativo numa classificação.

A análise discriminante *stepwise* realizada por Costa e Pereira (2006) apresenta, para uma classificação em três classes, como variáveis discriminantes para o corpo das rolhas o coeficiente de porosidade, o comprimento máximo, o diâmetro equivalente médio e a mínima distância ao vizinho, e para os topos o número de poros e o coeficiente de porosidade.

Costa e Pereira (2007) identificaram, com um sistema de análise RGB com detecção automática, como variáveis discriminantes para o corpo das rolhas o máximo e médio diâmetro equivalente, a área do poro máximo e a convexidade média. Em outra publicação, Costa e Pereira (2009) reportam, para distinção entre sete classes de qualidade, como variáveis discriminantes para o corpo das rolhas o coeficiente de porosidade, o comprimento máximo, a largura máxima, a área do poro máximo, o máximo diâmetro equivalente e o *aspect ratio*, e para os topos as variáveis, número de poros, coeficiente de porosidade, comprimento máximo, diâmetro equivalente médio e rectângulo médio.

O Quadro 6 apresenta os coeficientes estruturais destas variáveis nas funções discriminantes, a significância de cada uma destas funções e a percentagem de variância entre grupos explicada pelas funções discriminantes.

As funções canónicas encontradas para o corpo das rolhas são melhores que as encontradas para os topos para diferenciar as três classes de qualidade uma vez que possuem um *Eigenvalue* superior.

Quadro 6. Matriz dos coeficientes estruturais das variáveis com poder discriminante, significância das funções discriminantes e percentagem da variância entre os grupos explicada pelas 2 funções discriminantes extraídas

	Variáveis	Função 1	Função 2
Corpo	Diâmetro máximo	-0,251	0,575
	Coeficiente de porosidade	-0,368	0,675
	Azul (blue)	0,817	0,570
	Vermelho (red)	0,673	0,649
	Convexidade	0,327	-0,238
	<i>Eigenvalue</i>	2,412	0,898
	Variância explicada	72,9%	27,1%
Topo	Área total	0,537	0,615
	Azul (blue)	-0,086	0,318
	Vermelho (red)	-0,216	0,509
	Verde (green)	-0,018	0,367
	Concentração (np 100 mm ²)	0,363	0,803
	<i>Eigenvalue</i>	0,551	0,040
	Variância explicada	93,3%	6,7%

A função 1 do corpo é definida pelas variáveis de cor (azul e vermelho) explicando 72,9% da variabilidade entre as classes de qualidade. Esta função discrimina significativamente as três classes ($\Lambda = 0,154$; $\chi^2(10) = 551,073$; $p < 0,001$). A segunda função retida também discrimina significativamente as três classes de qualidade ($\Lambda = 0,527$; $\chi^2(4) = 189,008$; $p < 0,001$) e é definida pelo diâmetro máximo e o coeficiente de porosidade.

A primeira função discriminante do topo explica 93,3% da variabilidade entre as classes de qualidade que discrimina significativamente ($\Lambda = 0,620$; $\chi^2(10) = 140,942$; $p < 0,001$) (Quadro 6). A segunda função retida explica 6,7% da variabilidade e, também discrimina significativamente as três classes de qualidade ($\Lambda = 0,962$; $\chi^2(4) = 11,460$; $p = 0,022$).

Nesta análise discriminante, as variáveis escolhidas são idênticas em ambos os casos, corpo e topos, e são relacionadas com a dimensão da porosidade (diâmetro máximo, coeficiente de porosidade, área total e concentração) e com a respectiva cor (RGB). Variáveis relacionadas com a forma dos poros apenas foram incluídas na análise do corpo das rolhas (convexidade).

Verifica-se que as variáveis de cor da porosidade em rolhas de cortiça natural sem tratamento possuem grande poder discriminatório entre classes de qualidade. Por outro lado, as variáveis relacionadas com a dimensão da porosidade continuam a ser incluídas como tendo poder discriminatório, o que é consistente com outros trabalhos apresentados (Costa e Pereira, 2006, 2007, 2009; Gonzalez-Adrados *et al.*, 2000; Lopes e Pereira, 2000; Pereira *et al.*, 1996).

No Quadro 7 apresentam-se as funções discriminantes encontradas e que são utilizadas para a classificação apresentada no Quadro 8.

Quadro 7. Funções classificatórias encontradas para corpo e topo das três classes de qualidade

Cl. qualidade		Funções de classificação
Corpo	Flor/Extra	- 3,912 Coeficiente porosidade - 2,196 Azul + 3,974 Vermelho + 2245,260 Convexidade + 3,290 Diâmetro máximo - 954,421
	Superior/1ª	- 3,500 Coeficiente porosidade - 1,949 Azul + 4,209 Vermelho + 2219,279 Convexidade + 3,606 Diâmetro máximo - 968,948
	2ª/3ª	- 2,667 Coeficiente porosidade - 3,041 Azul + 4,537 Vermelho + 21828,963 Convexidade + 3,797 Diâmetro máximo - 904,783
Topo	Flor/Extra	0,480 Área total + 16,353 Azul + 8,901 Vermelho - 18,580 Verde - 2,451 Np100 - 274,446
	Superior/1ª	0,505 Área total + 16,166 Azul + 8,741 Vermelho - 18,309 Verde - 2,120 Np100 - 268,904
	2ª/3ª	0,523 Área total + 15,760 Azul + 8,152 Vermelho - 17,547 Verde - 2,048 Np100 - 248,384

A precisão da classificação foi maior quando se considera o corpo das rolhas em vez dos topos. Estes resultados podem ser explicados não só porque as variáveis calculadas apresentam maiores diferenças entre classes de qualidade ao nível da superfície lateral do corpo do que dos topos permitindo uma melhor distinção entre classes (exemplo Figura 25), mas também porque é dada maior importância e atenção à superfície lateral do corpo das rolhas aquando da inspecção visual do operador em fábrica.

A percentagem de rolhas classificadas na classe coincidente com a classificação feita em fábrica é de 87,0% quando considerando o corpo e de 60,0% quando considerando os topos. Estes resultados são consistentes com os publicados por Costa e Pereira (2009) que apresentam uma precisão de 72% quando considerando o corpo (77,8%, 66,7% e 68,8% respectivamente para as classes Superior, Média e Inferior) e 69% considerando os topos (com 90,3%, 50,5% e 56,3% respectivamente). A classificação em sete classes de qualidade é mais difícil e as precisões alcançadas pelas autoras foram de 45% com as variáveis do corpo e de 38% na análise dos topos. Costa e Pereira (2006), utilizando uma análise discriminante *stepwise*, registaram uma precisão na classificação em três classes de qualidade de 72% e 65% considerando o corpo e topos, respectivamente. Mais uma vez quando se pretende uma classificação em sete classes a precisão encontrada é significativamente menor com 41% para o corpo e 39% considerando os topos.

A classificação efectuada com as funções discriminantes do corpo da classe Flor/Extra apresenta-se menos precisa com apenas 70% das rolhas a serem classificadas em consonância com a classificação feita em fábrica. As restantes rolhas da classe Flor/Extra são maioritariamente classificadas como pertencentes à classe Superior/1ª (27%). A predição com

as variáveis do corpo das rolhas é bastante precisa no caso da classe Superior/1ª e 2ª/3ª com 94% e 97%, respectivamente (Quadro 8).

Quadro 8. Resultados da classificação das rolhas nas classes de qualidade em percentagem do número de inicial de rolhas em cada classe

	Classe de qualidade	Classe predita		
		Flor/Extra	Superior/1ª	2ª/3ª
Corpo	Flor/Extra	70,0	27,0	3,0
	Superior/1ª	6,0	94,0	0,0
	2ª/3ª	3,0	0,0	97,0
Topo	Flor/Extra	63,0	23,0	14,0
	Superior/1ª	33,0	49,0	18,0
	2ª/3ª	11,0	21,0	68,0

A predição a partir do topo das rolhas mostra-se bastante menos precisa para o caso da classe Superior/1ª onde apenas 49% das rolhas são classificadas em consonância com a classificação feita em fábrica. As rolhas Flor/Extra e de 2ª/3ª foram classificadas em consonância com a classificação feita em fábrica em 63% e 68% dos casos, respectivamente.

A Figura 27 ilustra o posicionamento de cada uma das rolhas no mapa territorial dos *scores* das duas funções discriminantes. Este mapa apresenta também os centróides de cada um dos grupos.

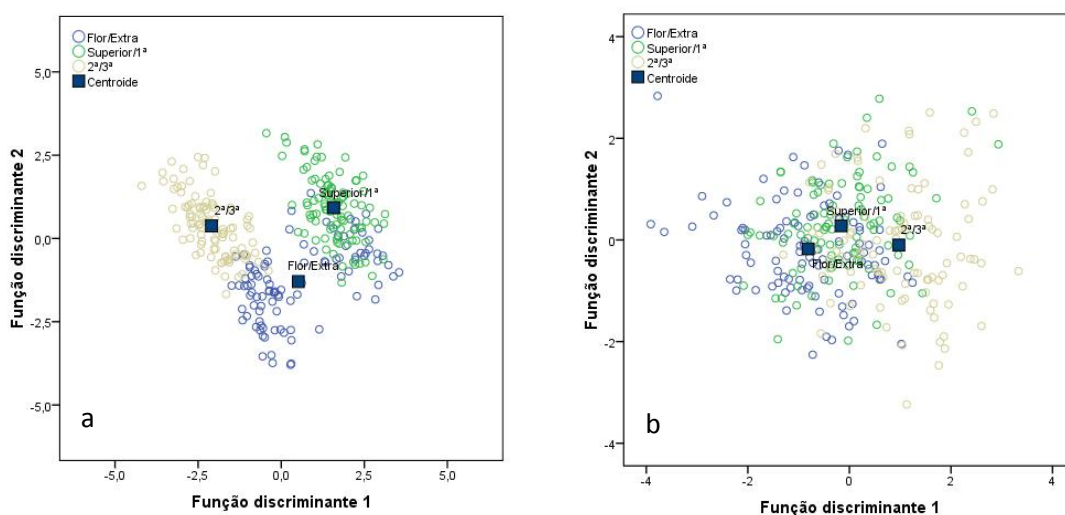


Figura 27. Mapa territorial das duas funções discriminantes para (a) o corpo das rolhas e para (b) o topo das rolhas

4.3. Caracterização da superfície lateral das rolhas

As rolhas são cortadas a partir de rabanadas de cortiça amadia cozida de forma a que o eixo da rolha fique paralelo à direcção axial da cortiça. Com esta orientação, os canais lenticulares ficam paralelos à secção transversal da rolha, ou seja aos topos. Em consequência desta orientação, a superfície lateral das rolhas não é uniforme em termos da secção de cortiça, variando entre uma região correspondente à secção tangencial e uma região correspondente à secção radial da cortiça (Fortes, *et al.*, 2004). Neste trabalho, as secções A e E correspondem à secção tangencial da cortiça e as secções C e G revelam a secção radial da cortiça; todas as outras secções (B, D, F e H) apresentadas são secções de características intermédias.

O Quadro 9 apresenta os valores médios para as variáveis independentes que caracterizam as oito secções laterais da superfície do corpo das rolhas. As variáveis caracterizadoras da dimensão e concentração da porosidade apresentam diferenças entre as várias secções da superfície lateral do corpo das rolhas. Verifica-se que as secções A e E correspondentes à secção tangencial da cortiça apresentam maior porosidade, nomeadamente, maior número de poros, maior área total ocupada pela porosidade e maior coeficiente de porosidade, comparativamente com as secções C e G, correspondentes à secção radial da cortiça. Por outro lado, estas secções (C e G) apresentam uma área do poro máximo superior e um maior rectângulo médio.

Quadro 9. Média das variáveis independentes para as secções laterais do corpo das rolhas

Variáveis	Secções da superfície lateral do corpo das rolhas							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Nº de poros	27	22	17	24	30	22	16	24
Área total	17,6	14,9	14,7	18,0	21,1	16,5	13,8	17,1
Rectângulo médio	1,5	1,6	2,3	1,7	1,7	1,8	2,4	1,7
Rectângulo máximo	12,5	11,3	19,1	15,0	15,4	13,5	18,1	12,2
Diâmetro médio	1,1	1,1	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2
Diâmetro máximo	4,1	3,8	4,7	4,4	4,4	4,1	4,7	3,9
Área do poro máximo	3,8	3,9	5,6	4,7	4,6	4,6	5,2	4,2
Factor de forma médio	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5
Esfericidade média	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Aspect ratio médio	2,1	2,0	2,1	2,0	2,1	2,1	2,2	2,0
Convexidade média	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8
Alongamento médio	2,4	2,3	2,4	2,3	2,4	2,4	2,5	2,3
Coefficiente de porosidade	4,2	3,5	3,5	4,2	5,0	3,9	3,3	4,0
Concentração (np 100 mm ²)	0,8	0,6	0,5	0,7	0,9	0,6	0,5	0,7
RGB::Vermelho médio	62,4	65,0	69,8	66,7	65,2	68,1	70,0	67,3
RGB::Verde médio	47,6	50,5	55,8	52,4	50,6	54,0	56,1	53,4
RGB::Azul médio	54,8	56,5	59,6	57,6	56,8	58,9	59,9	58,5
HSI:: Matiz média	255,3	245,9	219,7	235,1	243,5	231,8	216,1	234,1
HSI:: Saturação média	24,8	22,4	20,3	21,9	23,5	21,1	20,1	21,2
HSI:: Intensidade média	54,9	57,3	61,7	58,9	57,6	60,3	62,0	59,8

As variáveis relacionadas com a forma dos poros (factor de forma, esfericidade, *aspect ratio*, convexidade e alongamento) apresentam valores médios idênticos na superfície lateral das rolhas. O factor de forma médio é ligeiramente superior para as secções tangenciais (A e E) em relação às secções radiais (C e G), respectivamente 0,5 e 0,4 (Quadro 9). Isto pode ser devido ao facto de na secção tangencial, os poros se apresentarem aproximadamente circulares o que não acontece nas secções radiais.

O coeficiente de porosidade médio varia entre 3,3% para a secção radial G e 5,0% para a secção tangencial E (Quadro 9). A Figura 28 representa a variação do coeficiente de porosidade na superfície lateral das rolhas: se se percorrer a rolha de A para H verifica-se uma diminuição entre a porosidade da secção A e a C, depois um aumento entre a C e a secção E (máximo), decrescendo novamente até à secção G e aumentando posteriormente até à secção A. O coeficiente de porosidade varia entre 1,7% para a secção radial C da classe de qualidade Flor/Extra e 6,4% para a secção tangencial E da classe de qualidade 2ª/3ª (Quadro 11 e Quadro 13).

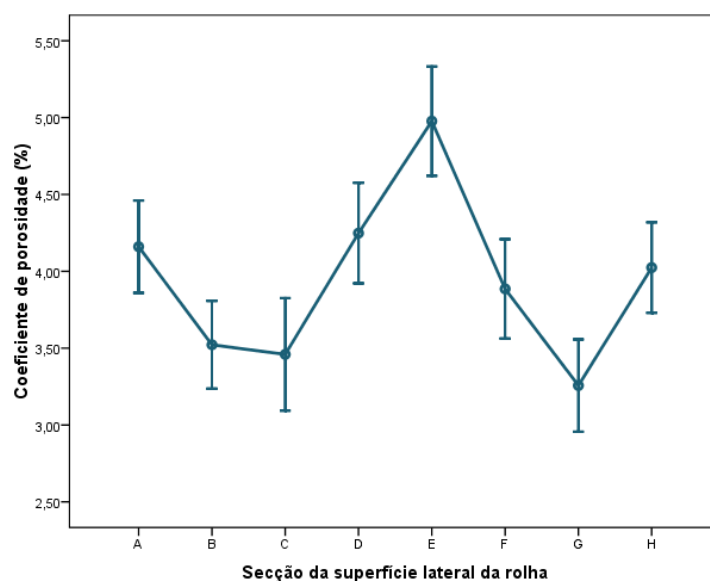


Figura 28. Variação do coeficiente de porosidade na superfície lateral do corpo das rolhas [média (n=300) e intervalo de confiança de 95%]

Estes resultados podem ser comparados com estudos efectuados nas superfícies tangencial e transversal de pranchas de cortiça (Pereira *et al.*, 1996), onde são reportados valores mínimos e máximos de coeficiente de porosidade entre 1,7% e 18,9% na secção tangencial e de 2,1% e 16,4% na secção transversal/radial.

Foi avaliada através de uma ANOVA a significância estatística das classes de qualidade e secções da superfície lateral e respectiva interacção nos valores observados para o coeficiente de porosidade. Verifica-se que, para um erro associado de 5%, a interacção entre os dois factores é estatisticamente significativa ($p = 0,024$).

Como se pode verificar na Figura 29 a variação do coeficiente de porosidade na superfície lateral é idêntica independentemente da classe de qualidade das rolhas. A tendência do aumento do coeficiente de porosidade da melhor para a pior classe de qualidade pode ser observada em todas as secções da superfície lateral das rolhas (Figura 29).

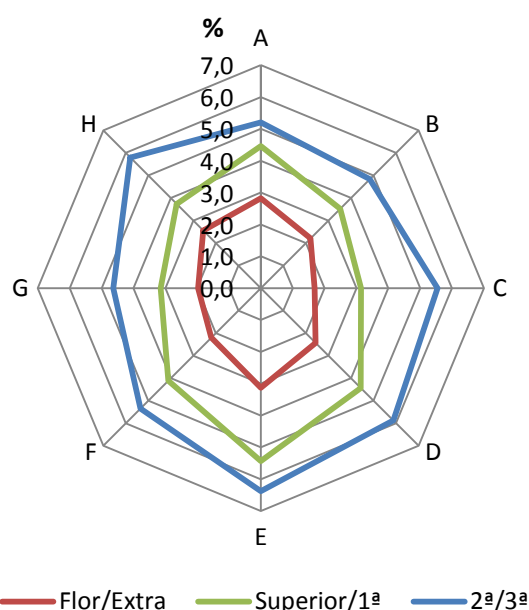


Figura 29. Variação do coeficiente de porosidade na superfície lateral do corpo das rolhas para cada classe de qualidade [média (n=100)]

Os efeitos principais, classe de qualidade e secção lateral do corpo da rolha, apresentam ambos efeitos estatisticamente significativos no valor do coeficiente de porosidade com $p < 0,001$ (Quadro 10).

Quadro 10. ANOVA two-way para o coeficiente de porosidade

Fonte variação	Soma dos quadrados	g.l.	Quadrado médio	F	Sig.	Potência
Classe qualidade	3795,876	2	1897,938	300,002	,000	1,000
Secção lateral	630,558	7	90,080	14,239	,000	1,000
C. qualidade * S. lateral	166,666	14	11,905	1,882	,024	,941
Erro	15031,557	2376	6,326			
Total	56913,691	2400				

O teste *post-hoc* HSD de Tukey permitiu o agrupamento em três grupos homogêneos de médias significativamente diferentes. Um grupo engloba as secções laterais B, C e G, outro engloba as secções A, D, F e H e, por último, estatisticamente diferente de todas as outras secções, a secção tangencial E.

O número de poros segue a mesma distribuição na superfície lateral das rolhas que o coeficiente de porosidade, atingindo o máximo de 30 poros para a secção tangencial E e um mínimo de 16 poros para a secção radial G (Quadro 9). A Figura 30 e Figura 31 permitem uma visualização da variação do número de poros na superfície lateral das rolhas.

A ANOVA realizada tendo como variável dependente o número de poros permite dizer que a interacção entre a classe de qualidade e as secções laterais do corpo das rolhas não apresenta um efeito significativo ($F(14,2376) = 1,215$; $p = 0,256$; potência = 0,758). Analisando os efeitos principais em separado verifica-se que ambos têm um efeito estatisticamente significativo ($p < 0,001$). De acordo com o teste *post-hoc* HSD de Tukey existem diferenças significativas entre as três classes de qualidade. Já as diferenças significativas entre as diversas secções da superfície lateral permitem a composição de cinco grupos distintos: i) as secções radiais C e G, com um número de poros médio de 16,5; ii) as secções intermédias B e F, com um número de poros médio de 21,7; iii) as secções intermédias D e H, com um número médio de poros de 24,0; iv) a secção tangencial A com uma média de 27,3 poros; e v) a secção tangencial E com uma média de 30,4 poros.

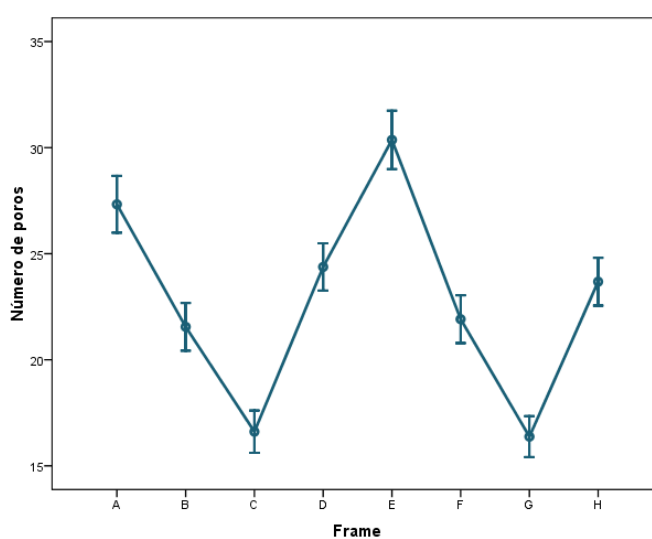


Figura 30. Variação do número de poros na superfície lateral do corpo das rolhas [média (n=300) e intervalo de confiança de 95%]

As diferenças significativas encontradas entre as duas secções tangenciais poderão ser devidas à variação radial da porosidade entre a barriga, com menor porosidade, e a costa da prancha, onde são encontrados valores de porosidade superiores (Pereira, 2007).

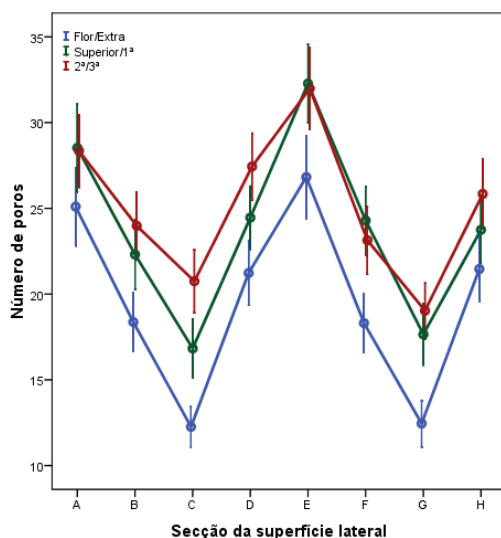


Figura 31. Variação do número de poros na superfície lateral do corpo das rolhas para cada classe de qualidade [média (n=100) e intervalo de confiança de 95%]

Considerando as três classes de qualidade, o número de poros varia entre 32 poros encontrados na secção tangencial E das classes de qualidade Superior/1ª e 2ª/3ª e 12 poros identificados na secção radial C da classe Flor/Extra (Quadro 11, Quadro 12 e Quadro 13).

Quadro 11. Média das variáveis independentes para as secções laterais do corpo das rolhas da classe de qualidade Flor/Extra

Variáveis	Secções da superfície lateral do corpo das rolhas							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Nº de poros	25	18	12	21	26	18	13	22
Área total	11,9	9,4	7,1	10,3	13,2	9,3	8,4	10,8
Rectângulo médio	1,1	1,2	1,5	1,1	1,1	1,2	2,1	1,1
Rectângulo máximo	6,6	7,1	9,9	7,5	7,3	6,9	12,3	6,2
Diâmetro médio	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,3	1,0
Diâmetro máximo	3,0	3,0	3,4	3,2	3,2	3,0	4,0	2,9
Área do poro máximo	2,3	2,6	2,7	2,4	2,5	2,5	3,3	2,3
Factor de forma médio	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5
Esfericidade média	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Aspect ratio médio	2,1	1,9	2,1	2,0	2,0	2,1	2,2	2,0
Convexidade média	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Alongamento médio	2,4	2,2	2,4	2,2	2,3	2,5	2,6	2,2
Coefficiente de porosidade	2,8	2,2	1,7	2,4	3,1	2,2	2,0	2,6
RGB::Vermelho médio	60,4	62,2	67,0	63,6	63,4	66,4	68,1	65,5
RGB::Verde médio	45,4	47,2	53,1	48,6	49,1	52,1	54,4	51,6
RGB::Azul médio	53,2	54,5	57,6	55,4	55,8	58,3	58,8	57,9
HSI:: Matiz média	262,4	264,4	230,4	256,7	249,7	249,2	226,4	248,3
HSI::Saturação média	25,3	23,6	20,6	23,8	23,6	21,6	20,2	21,5
HSI::Intensidade média	53,0	54,7	59,3	55,8	56,1	58,9	60,4	58,3

Quadro 12. Média das variáveis independentes para as secções laterais do corpo das rolhas da classe de qualidade Superior/1ª

Variáveis	Secções da superfície lateral do corpo das rolhas							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Nº de poros	29	22	17	25	32	24	18	24
Área total	18,9	14,9	13,3	18,8	23,0	17,4	13,4	15,8
Rectângulo médio	1,5	1,5	2,3	1,9	1,8	1,8	2,1	1,6
Rectângulo máximo	13,4	10,2	17,2	17,6	18,2	13,0	17,4	11,1
Diâmetro médio	1,2	1,1	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1
Diâmetro máximo	4,3	3,7	4,5	4,8	4,9	4,1	4,7	3,8
Área do poro máximo	3,9	3,6	5,1	5,2	5,2	4,4	4,9	3,8
Factor de forma médio	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Esfericidade média	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
<i>Aspect ratio</i> médio	2,1	2,1	2,2	2,0	2,1	2,1	2,2	2,0
Convexidade média	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Alongamento médio	2,4	2,4	2,5	2,3	2,4	2,4	2,5	2,3
Coefficiente de porosidade	4,5	3,5	3,1	4,4	5,4	4,1	3,2	3,7
RGB::Vermelho médio	70,2	73,4	77,6	74,3	72,2	75,1	77,8	74,8
RGB::Verde médio	57,4	60,4	64,2	61,8	58,9	62,3	64,8	62,1
RGB::Azul médio	63,5	65,0	67,5	65,9	64,6	66,0	67,7	66,3
HSI:: Matiz média	238,7	225,6	210,1	218,3	235,3	212,3	202,1	220,4
HSI:: Saturação média	19,0	17,9	17,2	17,2	19,2	17,5	16,8	17,2
HSI:: Intensidade média	63,7	66,3	69,8	67,3	65,2	67,8	70,1	67,7

Quadro 13. Média das variáveis independentes para as secções laterais do corpo das rolhas da classe de qualidade 2ª/3ª

Variáveis	Secções da superfície lateral do corpo das rolhas							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Nº de poros	28	24	21	27	32	23	19	26
Área total	22,1	20,5	23,5	24,9	27,0	22,7	19,7	24,6
Rectângulo médio	2,0	2,1	3,2	2,2	2,1	2,4	2,9	2,4
Rectângulo máximo	17,5	16,5	30,4	20,0	20,6	20,7	24,6	19,3
Diâmetro médio	1,3	1,2	1,4	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4
Diâmetro máximo	4,9	4,5	6,1	5,1	5,2	5,2	5,6	5,1
Área do poro máximo	5,1	5,5	9,1	6,5	6,1	7,0	7,4	6,5
Factor de forma médio	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5
Esfericidade média	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
<i>Aspect ratio</i> médio	2,2	2,0	2,1	2,0	2,1	2,0	2,1	2,0
Convexidade média	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8
Alongamento médio	2,5	2,3	2,4	2,3	2,4	2,3	2,5	2,3
Coefficiente de porosidade	5,2	4,8	5,5	5,9	6,4	5,3	4,6	5,8
RGB::Vermelho médio	56,5	59,3	64,9	62,1	60,0	62,8	64,4	61,9
RGB::Verde médio	39,8	44,0	50,0	46,9	43,9	47,5	49,3	46,6
RGB::Azul médio	47,5	49,8	53,8	51,7	50,0	52,4	53,2	51,5
HSI:: Matiz média	264,7	247,6	218,5	230,2	245,7	233,9	219,8	233,4
HSI:: Saturação média	30,0	25,7	22,9	24,8	27,6	24,1	23,3	24,8
HSI:: Intensidade média	48,0	51,0	56,2	53,6	51,3	54,2	55,6	53,3

Dada a orientação radial dos canais lenticulares, o rectângulo médio das secções C e G (radiais) apresenta um valor superior em relação a todas as outras secções como se pode visualizar na Figura 32 para a totalidade das rolhas ou na Figura 33 para cada classe de qualidade.

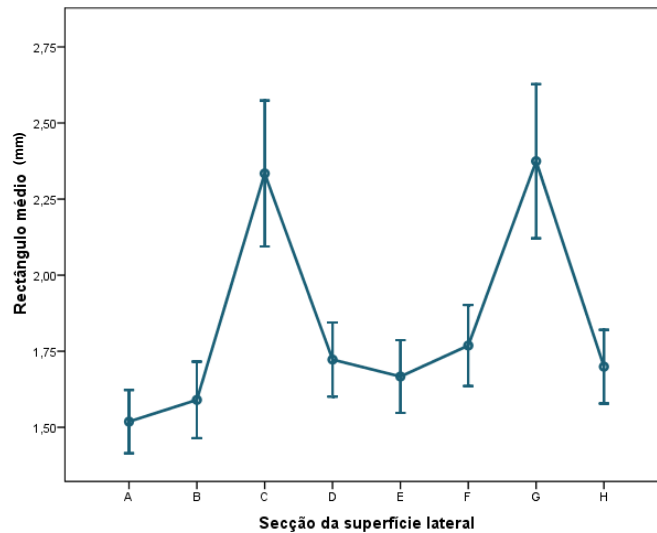


Figura 32. Variação do rectângulo médio na superfície lateral do corpo das rolhas [média (n=300) e intervalo de confiança de 95%]

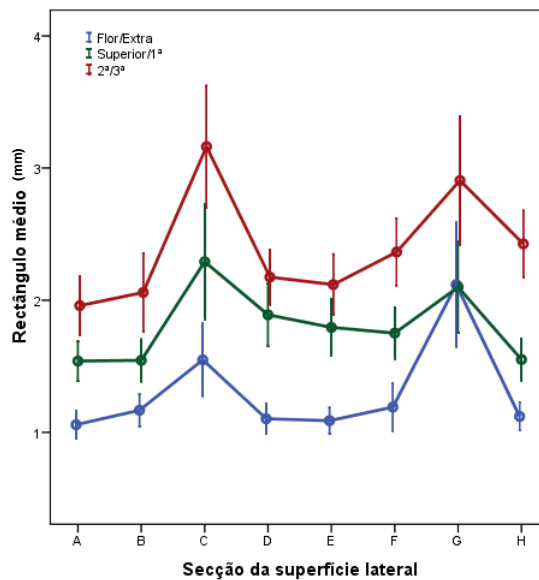


Figura 33. Variação do rectângulo médio na superfície lateral do corpo das rolhas para cada classe de qualidade [média (n=100) e intervalo de confiança de 95%]

A ANOVA realizada tendo como variável dependente o rectângulo médio permite dizer que a interacção entre a classe de qualidade e as secções laterais do corpo das rolhas apresenta um efeito significativo para um erro de 5% ($F(14,2376) = 1,799$; $p = 0,033$; potência = 0,928). Analisando os efeitos principais em separado verifica-se que ambos têm um efeito estatisticamente significativo ($p < 0,001$). De acordo com o teste *post-hoc* HSD de Tukey existem diferenças significativas entre as três classes de qualidade, a classe Flor/Extra apresenta porosidade de menor dimensão e a 2ª/3ª porosidade de maiores dimensões. Existem diferenças significativas entre dois grupos das secções da superfície lateral, por um lado as secções radiais C e G com um rectângulo médio de $2,35 \text{ mm}^2$ e por outro lado todas as restantes secções com um rectângulo médio de $1,66 \text{ mm}^2$.

São também as secções radiais que apresentam a área do poro máximo superior, sendo que 37% dos poros com maior área se situam nestas duas secções (Figura 34). Na secção radial da cortiça os poros apresentam, regra geral, forma alongada com razão comprimento/largura elevada, dependendo o comprimento do afastamento do eixo do poro da direcção radial assim como do ângulo de corte da secção (Fortes *et. al.*, 2004).

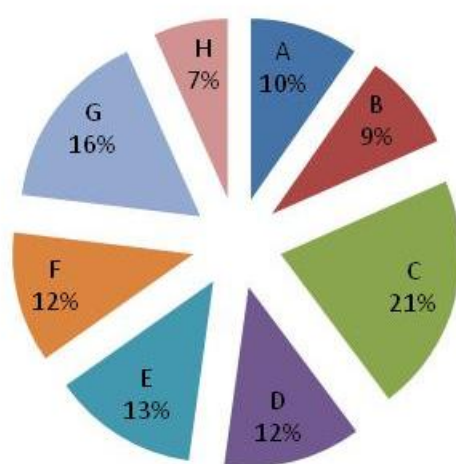


Figura 34. Localização do poro de maior dimensão na superfície lateral das rolhas

Excepto para a classe de qualidade Superior/1ª, onde a secção radial G apenas é em 13% das vezes a que possui o poro de maior dimensão, as secções radiais apresentam maior número de vezes o poro de maiores dimensões para as três classes de qualidade (Figura 35).

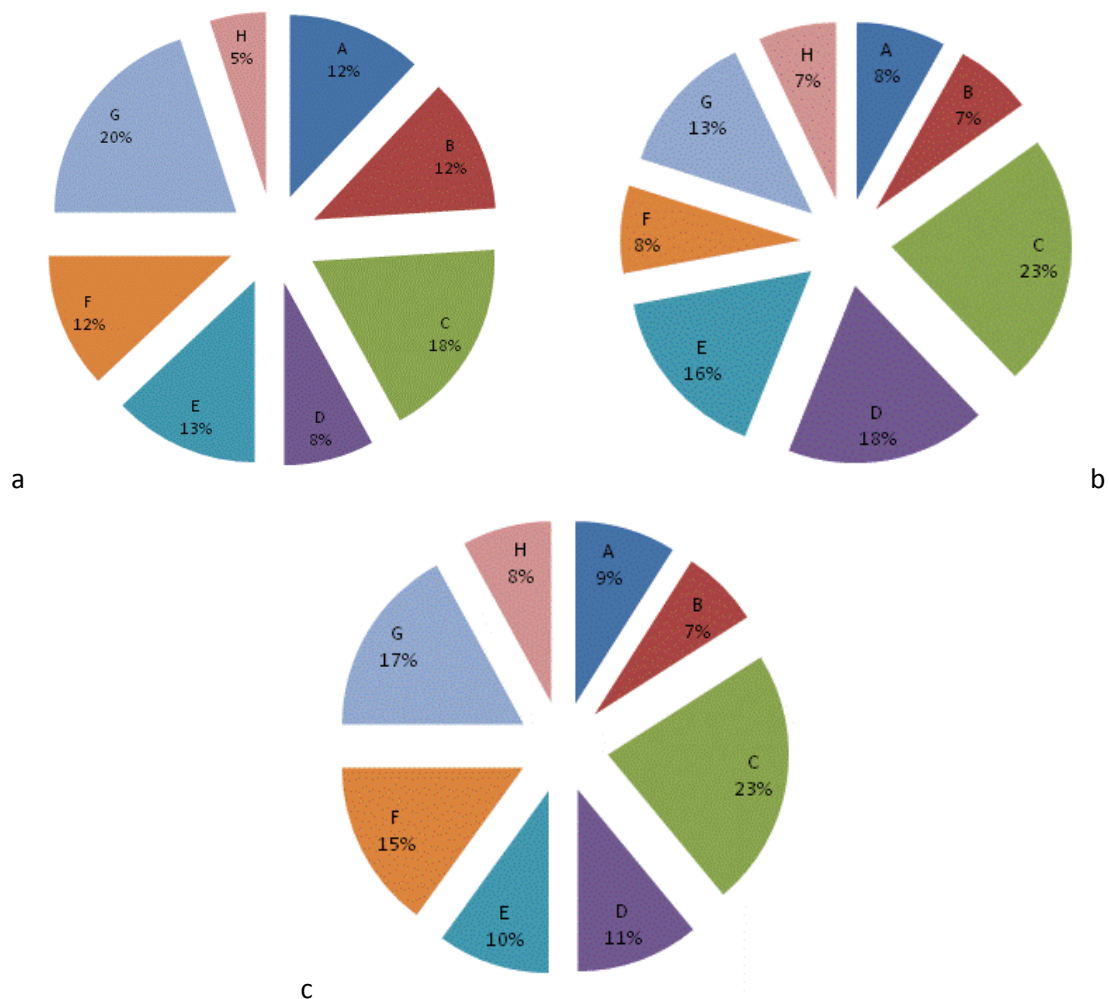


Figura 35. Localização do poro de maior dimensão na superfície lateral das rolhas da classe de qualidade (a) Flor/Extra, (b) Superior/1ª e (c) 2ª/3ª

Corroborando os resultados apresentados anteriormente, as secções C e G apresentam grande parte da porosidade na classe de dimensão superior a 5 mm^2 . Na secção radial C, 63% da porosidade tem dimensões superiores a 2 mm^2 e na secção G esta porosidade representa mais de 60%. Por outro lado, a porosidade de menor dimensão representa na secção tangencial A quase 60% e na secção E mais de 55% (Figura 36).

Apesar das diferenças na distribuição percentual da porosidade ao longo da superfície lateral das rolhas, verifica-se que, em qualquer das secções do corpo, mais de 60% do número de poros se encontra na classe de dimensão entre $0,1$ e $0,5 \text{ mm}^2$ e até $1,0 \text{ mm}^2$ encontramos cerca de 80% do número de poros (Figura 37). A porosidade de grande dimensão das secções radiais representa pouco mais de 3% do número de poros.

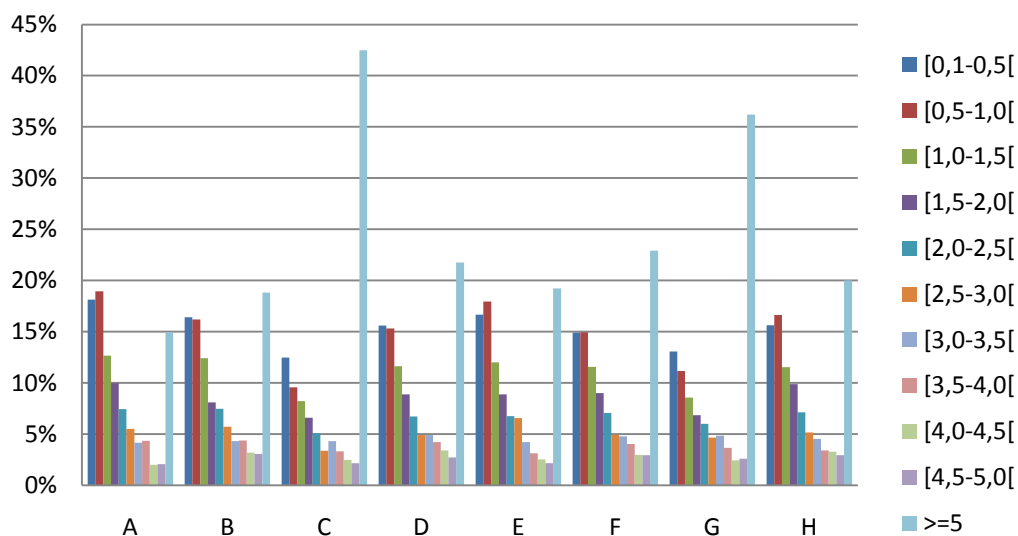


Figura 36. Distribuição percentual da porosidade na superfície lateral por classes de dimensão (mm²)

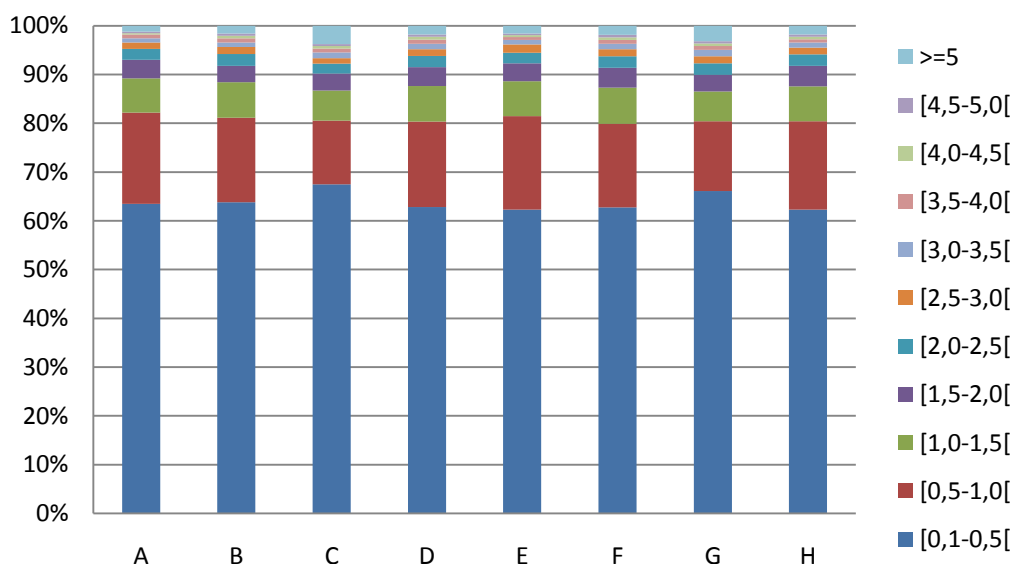


Figura 37. Distribuição percentual do número de poros na superfície lateral por classes de dimensão (mm²)

Ao analisar a distribuição percentual da porosidade na superfície lateral para cada classe de qualidade verifica-se, para em todos os casos, que as secções radiais apresentam uma maior percentagem de porosidade de grandes dimensões que, no entanto, corresponde a um número reduzido de poros (Figura 38 a Figura 43). Comparativamente com as outras classes de qualidade, a classe Flor/Extra possui maior percentagem de porosidade de pequenas dimensões, nomeadamente, ao nível das secções tangenciais onde mais de 50% da porosidade tem dimensão até 1 mm² (Figura 38 e Figura 39).

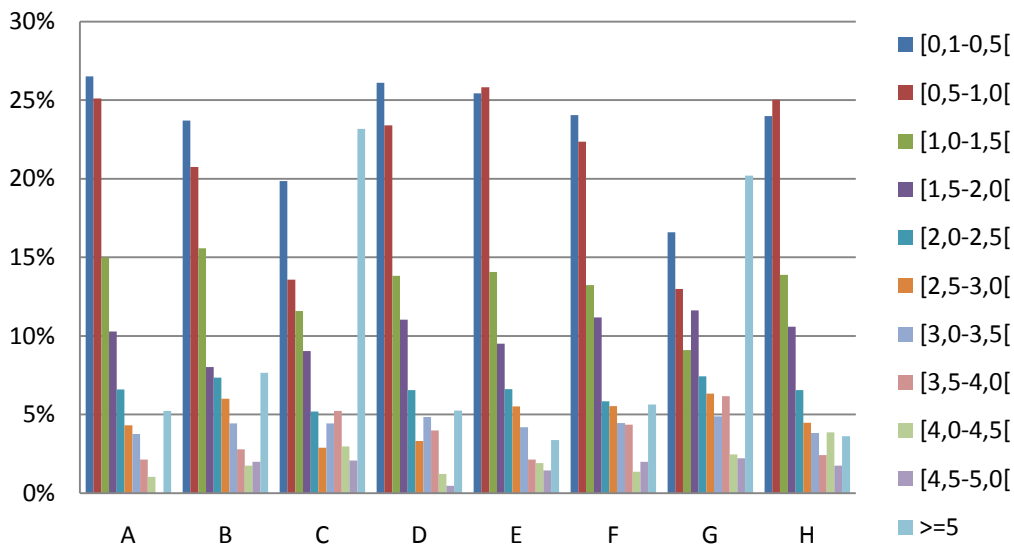


Figura 38. Distribuição percentual da porosidade na superfície lateral do corpo das rolhas por classes de dimensão (mm²) para a classe de qualidade Flor/Extra

No caso da classe de qualidade Flor/Extra, os poros de dimensão inferior a 1 mm² rondam os 90% do número de poros total (Figura 39), para a classe Superior/1^a representam cerca de 80% (Figura 41) e nas rolhas de 2^a/3^a não chegam a representar os 80% em todas as secções da superfície lateral do corpo das rolhas (Figura 43).

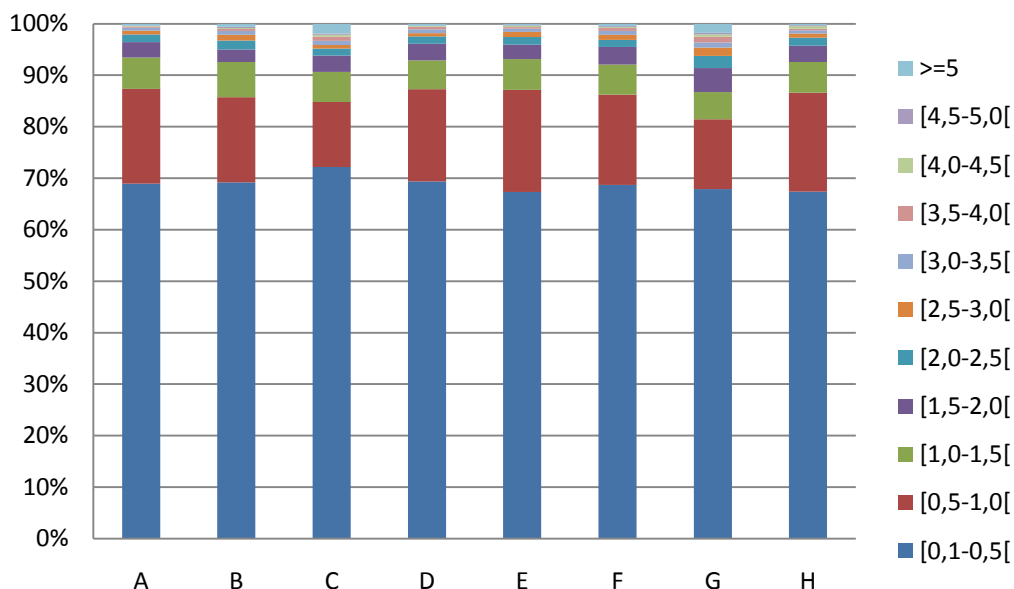


Figura 39. Distribuição percentual do número de poros na superfície lateral do corpo das rolhas por classes de dimensão (mm²) para a classe de qualidade Flor/Extra

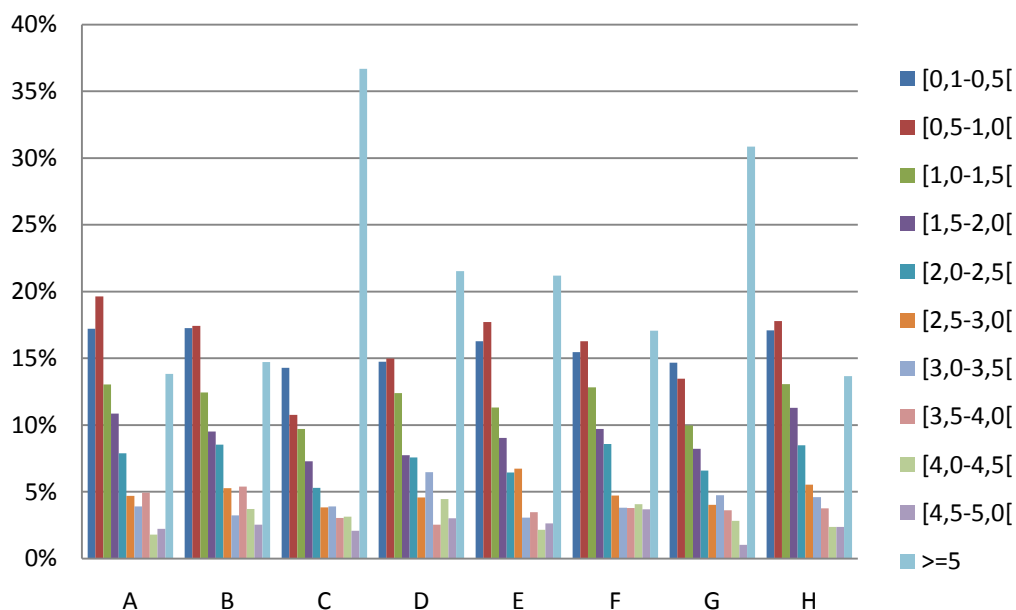


Figura 40. Distribuição percentual da porosidade na superfície lateral do corpo das rolhas por classes de dimensão (mm²) para a classe de qualidade Superior/1ª

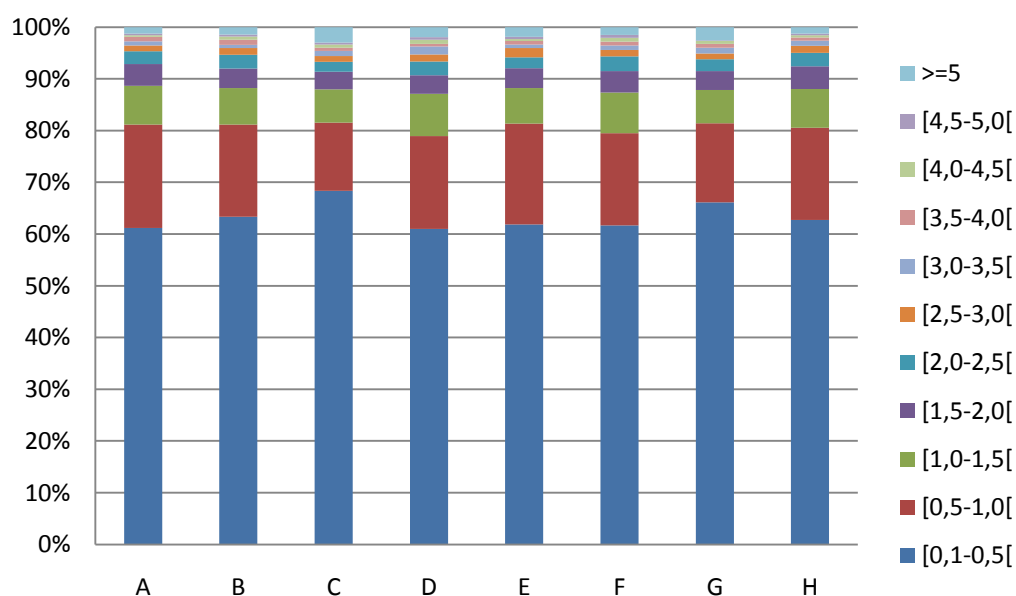


Figura 41. Distribuição percentual do nº de poros na superfície lateral do corpo das rolhas por classes de dimensão (mm²) para a classe de qualidade Superior/1ª

A classe de qualidade apresenta em todas as secções da superfície lateral do corpo das rolhas uma percentagem significativa de porosidade de grandes dimensões, chegando a representar na secção radial C mais de 50% da área total de poros (Figura 42).

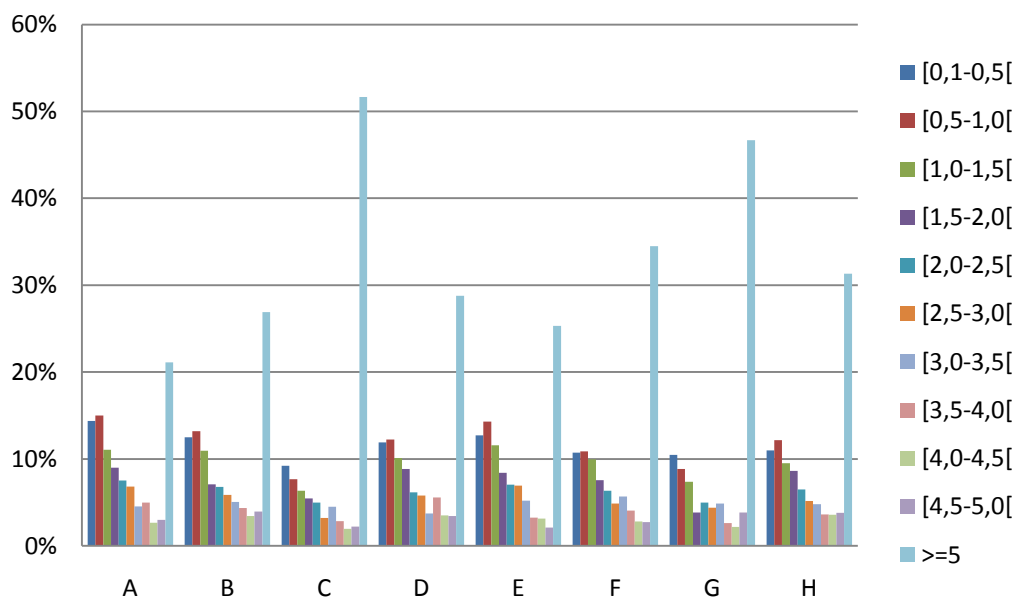


Figura 42. Distribuição percentual da porosidade na superfície lateral do corpo das rolas por classes de dimensão (mm²) para a classe de qualidade 2^a/3^a

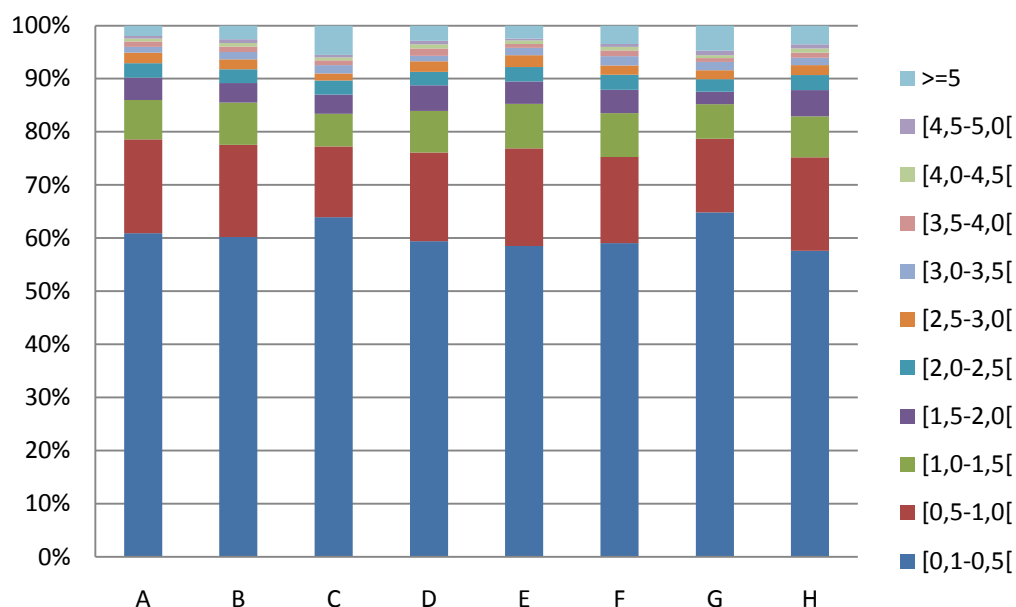


Figura 43. Distribuição percentual do nº de poros na superfície lateral do corpo das rolas por classes de dimensão (mm²) para a classe de qualidade 2^a/3^a

Estudou-se também a distribuição da porosidade nas várias secções da superfície lateral por classe de orientação. Como se referiu anteriormente, a orientação é definida como o ângulo entre a linha correspondente ao momento máximo da nuvem de pontos que descreve a partícula e o eixo X. A Figura 44 mostra que nas secções radiais (C e G) mais de 55% do número de poros se encontra nas classes de orientação de 0° a 45° e de 135° a 180°, enquanto nas

secções tangenciais (A e E) quase 80% do número de poros se encontra entre os 45° e os 135°. Este é um resultado esperado, uma vez que na secção radial os canais lenticulares são cortados por um plano paralelo ou fazendo um ângulo relativamente pequeno com o seu eixo de desenvolvimento radial (Fortes *et al.*, 2004).

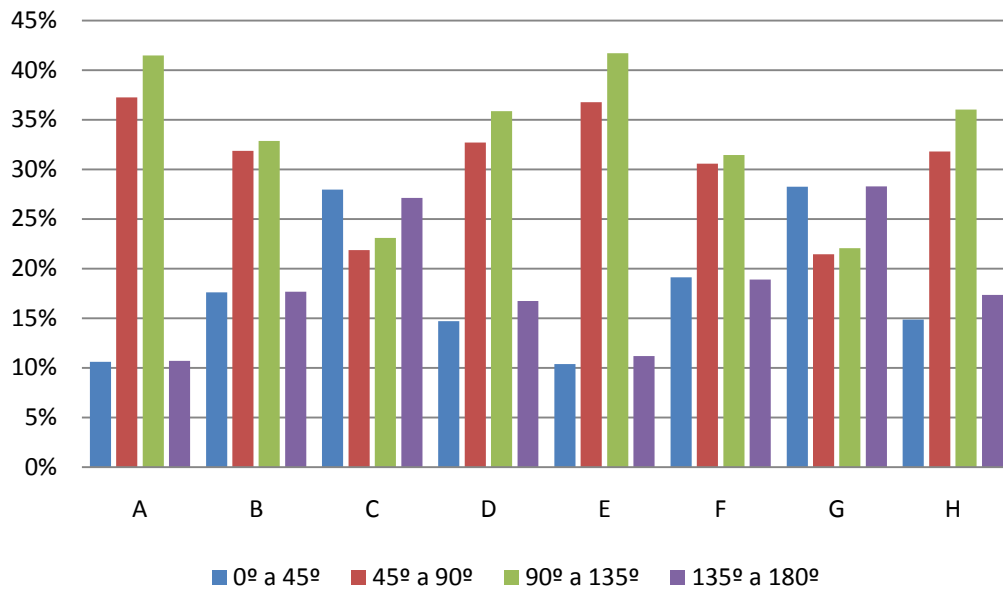


Figura 44. Distribuição percentual do número de poros da superfície lateral das rolhas por classe de orientação

5. Conclusões

A caracterização da porosidade da superfície exterior (corpo e topos) das rolhas de cortiça natural das três classes de qualidade consideradas (Extra/Flor; Superior/1ª e 2ª/3ª) mostra que as variáveis de dimensão (nº de poros, área total, rectângulo e diâmetro, médio e máximo, e área do poro máximo) e as variáveis de concentração (coeficiente de porosidade e concentração em 100 mm²), quer do corpo dos topos das rolhas, apresentam uma tendência crescente da melhor para a pior classe de qualidade. Já as variáveis relacionadas com a forma dos poros (factor de forma, esfericidade, *aspect ratio*, convexidade e alongamento) apresentam valores idênticos nas três classes de qualidade. Por seu lado, as variáveis relacionadas com a cor dos poros (RGB e HSI) apresentam diferenças entre as classes de qualidade e verifica-se que a classe Flor/Extra apresenta uma maior heterogeneidade de valores.

Em termos médios, as rolhas pertencentes a cada classe de qualidade podem ser descritas, e distinguidas entre si, segundo as características dos seus poros. As rolhas pertencentes às classes de qualidade Flor e Extra terão, na superfície lateral do seu corpo, um coeficiente de porosidade inferior a 2,4% com poros de dimensão inferior a 5,7 mm² e com mais de 70% da porosidade com dimensão inferior a 2 mm². Para as rolhas pertencentes à classe de qualidade Superior/1ª será espectável encontrar um coeficiente de porosidade inferior a 4% e a 3,1%, na superfície lateral do seu corpo e nos seus topos respectivamente, com poros até 10,6 mm² e 9,0 mm². As rolhas pertencentes às classes de qualidade 2ª e 3ª terão um coeficiente de porosidade até 5,5% com poros até 16,1 mm² e onde apenas cerca de 40% da porosidade terá dimensão inferior a 2 mm².

A análise discriminante aplicada às três classes de qualidade seleccionou, em ambos os casos, corpo e topos, variáveis relacionadas com a dimensão da porosidade (diâmetro máximo, coeficiente de porosidade, área total e concentração) e com a respectiva cor (RGB). Variáveis relacionadas com a forma dos poros apenas foram incluídas na análise do corpo das rolhas (convexidade). A percentagem de rolhas classificadas correctamente é de 87,0% quando considerando o corpo e de 60,0% quando considerando os topos.

Verifica-se que as variáveis de cor da porosidade em rolhas de cortiça natural sem tratamento possuem grande poder discriminatório entre classes de qualidade. Por outro lado, as variáveis relacionadas com a dimensão da porosidade continuam a ser incluídas como tendo poder discriminatório.

Na caracterização da superfície lateral do corpo das rolhas, as variáveis caracterizadoras da dimensão e concentração da porosidade apresentam diferenças entre as várias secções. Verifica-se que as secções tangenciais do corpo da rolha apresentam maior porosidade, nomeadamente, maior número de poros, maior área total e maior coeficiente de porosidade, comparativamente com as secções radiais da cortiça. Por outro lado, as secções radiais apresentam uma área do poro máximo superior e um maior rectângulo médio. As variáveis relacionadas com a forma dos poros (factor de forma, esfericidade, *aspect ratio*, convexidade e alongamento) apresentam valores médios idênticos na superfície lateral das rolhas.

Ao analisar a distribuição percentual da porosidade na superfície lateral para cada classe de qualidade verifica-se, para em todos os casos, que as secções radiais apresentam uma maior percentagem de porosidade de grandes dimensões que, no entanto, corresponde a um número reduzido de poros. Comparativamente com as outras classes de qualidade, a classe Flor/Extra possui maior percentagem de porosidade de pequenas dimensões, nomeadamente, ao nível das secções tangenciais onde mais de 50% da porosidade tem dimensão até 1 mm².

A distribuição da porosidade nas várias secções da superfície lateral por classe de orientação mostra que nas secções radiais a maioria dos poros se encontra nas classes de orientação de 0º a 45º e de 135º a 180º, enquanto nas secções tangenciais quase 80% do número de poros se encontra entre os 45º e os 135º.

6. Referências bibliográficas

Autoridade Florestal Nacional (AFN). 2010. Apresentação do Relatório Final do 5.º Inventário Florestal Nacional. Disponível em <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/ifn/relatorio-final-ifn5-florestat-1>

Autoridade Florestal Nacional (AFN). 2010. FloreStat – Aplicação para consulta dos resultados do 5.º Inventário Florestal Nacional. Disponível em <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/ifn/relatorio-final-ifn5-florestat-1>

Associação Portuguesa de Cortiça (APCOR). 2004. Kit Técnico sobre Rolhas de Cortiça, pp. 62.

Associação Portuguesa de Cortiça (APCOR). 2009a. Estatísticas da indústria de cortiça. Cork Information Bureau, pp. 12.

Associação Portuguesa de Cortiça (APCOR). 2009b. Cortiça. Factos e História. Cork Information Bureau, pp. 9.

Cork Quality Council. 2004. Disponível, a 10 de Dezembro de 2010, em: <http://www.corkqc.com/production/production3.htm>

Costa, A. e Pereira, H. 2004. Caracterização e Análise de Rendimento da Operação de Traçamento na Preparação de Pranchas de Cortiça para a Produção de Rolhas. *Silva Lusitana* 12(1): 51-66.

Costa, A. e Pereira, H. 2005. Quality characterization of wine cork stoppers using computer vision. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 39:4 209-218.

Costa, A. e Pereira, H. 2006. Decision rules for computer-vision quality classification of wine natural cork stoppers *American Journal of Enology and Viticulture* 57(2):210-219.

Costa, A. e Pereira, H. 2007. Influence of vision systems, black and white, colored and visual digitalization, in natural cork stopper quality estimation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87:2222–2228.

Costa, A. e Pereira, H. 2009. Computer vision applied to cork stoppers inspection. In *Cork oak woodlands and cork industry: present, past and future*. Santiago Zapata (ed.), pp. 394-405.

Fortes, M. A., Rosa, M. E. & Pereira, H. 2004. *A Cortiça*. Editora IST Press, Lisboa, 259 pp.

Gonzalez-Adrados, J. & Pereira, H. 1996. Classification of defects in cork planks using image analysis. *Wood Science and Technology* 30(3): 207-215.

Gonzalez-Adrados, J. R., Lopes, F. e Pereira, H. 2000. Quality grading of cork planks with classification models based on defect characterisation. *Holz als Roh- und Werkstoff* 58(1-2): 39-45.

Instituto Nacional de Estatística. 2010. Estatísticas da Produção Industrial – 2008.

Lopes, F. e Pereira, H. 2000. Definition of quality classes for champagne cork stoppers in the high quality range. *Wood Science and Technology* 34(1): 3-10.

Maroco, J. 2007. Análise Estatística - Com utilização do SPSS. 3ª Edição. Edições Sílabo, pp. 822.

Pereira, H., Rosa, M. E. & Fortes, M. A. 1987. The cellular structure of cork from *Quercus suber* L.. *IAWA Bulletin* 8(3): 213-218.

Pereira, H. 1988. Chemical composition and variability of cork form *Quercus suber* L. *Wood Science and Technology* 22(3): 211-218.

Pereira, H., Lopes, F. & Graça, J. 1996. The evaluation of the quality of cork planks by image analysis. *Holzforschung* 50(2): 111-115.

Pereira, H. 2007. Cork: Biology, Production and Uses. Elsevier B.V. (Eds.), pp. 336.

Reis, E. 2001. Estatística Multivariada Aplicada. 2ª Edição. Edições Sílabo, pp. 343.

Teles, A. 2000. Comportamento de compósitos borracha/cortiça para aplicação em juntas. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Polímeros. Universidade do Minho.