

MODIFICAÇÕES ANATÔMICAS E FÍSICA DE COLMOS DE *Guadua* sp. SUBMETIDOS A TRATAMENTOS PRESERVATIVOS CONVENCIONAIS E NATURAIS ¹

ANATOMICAL AND PHYSICAL CHANGES OF *Guadua* sp. CULMS SUBMITTED TO CONVENTIONAL AND NATURAL PRESERVATIVE TREATMENTS

Moisés Silveira LOBÃO^{2,8}; Fernanda Trislitz Perassolo GUEDES³; Mariane Pita DE SÁ⁴; Michaela Nascimento QUEIROZ⁴; Lucas Vieira Lemos ROMEU⁴; Neila Cristina de Lima FERNANDES⁵; Percy Amílcar Zevallos POLLITO⁶; Mario TOMAZELLO-FILHO⁷

RESUMO - Os colmos das espécies de bambu que ocorrem em regiões tropicais, como as do gênero *Guadua*, são suscetíveis aos organismos xilófagos o que implica na redução de sua vida útil nas inúmeras e importantes aplicações. Desta forma, preconiza-se a aplicação de produtos preservativos naturais ou convencionais para aumentar a sua durabilidade quando em uso. O presente trabalho tem como objetivos avaliar as modificações das características anatômicas e física de colmos de *Guadua* sp. submetidos a tratamentos preservativos com produtos convencionais, naturais e residuais. Colmos de bambus do gênero *Guadua* sp. foram coletados na floresta do Parque Zoobotânico da UFAC e preparados corpos de prova submetidos aos tratamentos com água salgada, óleo residual e solução de boro. As alterações da estrutura anatômica e da densidade aparente dos colmos foram analisadas por técnicas de histologia e de densitometria de raios X, indicando que somente o tratamento com solução salina (água salgada e solução com boro) resultou em diferença significativa ($p < 0,05$) em relação à testemunha. Os resultados da Análise de Componentes Principais mostraram que a características anatômicas e física dos colmos mais relevantes foram a % de parênquima-fibras e a densidade nos componentes 1 e 2, respectivamente. No presente trabalho são discutidos os aspectos da efetividade, praticidade dos tratamentos preservativos dos colmos de bambus do gênero *Guadua*.

Palavras-chave: Bambu; Preservação; Durabilidade.

ABSTRACT - The culms of bamboo species that occur in tropical regions, such the genus *Guadua*, are susceptible to xylophagous organisms, reducing their useful life in numerous and important applications. Thus, it is recommended the application of natural or conventional preservative products to increase its durability when in use. The present work aims to evaluate the changes in the anatomical and physical characteristics of *Guadua* sp. bamboo culms subjected to preservative treatments with conventional and natural and residual products. Bamboo culms of *Guadua* sp. were collected from the UFAC Zoobotanical Park Forest and specimens were prepared and subjected to salt water, residual oil and boron solution treatments. Changes in the culm anatomical structure and density were analysed by histology and X-ray densitometry techniques, indicating that only treatment with saline resulted in a significant difference ($p < 0.05$) in relation to the control. The results of the PCA analysis showed that the of most relevant culms anatomical and physical characteristics were the % of parenchyma and fibres and the density in components 1 and 2, respectively. In the present work, aspects of effectiveness, practicality, etc. are discussed concerned to preservative treatments of *Guadua* bamboo culms.

Keywords: Bamboo; Preservation; Durability.

¹Recebido para análise em 13.01.2021. Aceito para publicação em 12.03.2021.

²Universidade Federal do Acre, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Rod. BR 364, Km 04, Distrito Industrial, 69920-900, Rio Branco, AC, Brasil.

³Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), Av. Pádua Dias, 235, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil.

⁴Universidade Federal do Acre, Rod. BR 364, Km 04, Distrito Industrial, 69920-900, Rio Branco, AC, Brasil.

⁵Universidade Federal do Acre, Laboratório da Universidade Federal do Acre, Rod. BR 364, Km 04, Distrito Industrial, 69920-900, Rio Branco, AC, Brasil.

⁶Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios-UNAMAD, Av. Jorge Chávez, Puerto Maldonado Madre de Dios, Perú.

⁷Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), Departamento de Ciências Florestais, Av. Pádua Dias, 235, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil.

⁸Autor para correspondência: Moisés Silveira Lobão - moiseslobao6@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de pesquisas relacionados com a utilização dos colmos das espécies de bambu está concentrado, em sua maioria, nos países orientais, onde ocorrem naturalmente importantes e valiosas espécies de bambu, como as do gênero *Phyllostachys*, dentre outras. Como uma das exceções, pode-se mencionar os bambus do gênero *Guadua*, originários da América e utilizados na Colômbia e Equador, com várias espécies nativas no Brasil (Silveira, 2001; Pereira e Beraldo, 2007).

No Brasil, os bambus nativos ocorrem na região sudoeste da Amazônia, destacando-se o estado do Acre, com 38% de suas florestas compostas por vários gêneros de bambus lenhosos, como *Elytostachys* spp., *Arthrostyidium* spp., *Guadua weberbaueri* Pilg., *Guadua sarcocarpa* Londoño & P.M. Peterson e outras espécies do gênero (Judziewicz et al., 1999; Ghavami e Marinho, 2005; Murad, 2011). Nessa região, os bambus nativos ocorrem em aproximadamente de 600 mil ha, as áreas de tabocais, nos estados do Acre e sul do Amazonas e nas regiões vizinhas da Bolívia e do Peru, sendo considerada a maior área contínua de bambus nativos no mundo (Silveira, 2001; Lima et al., 2012; Miranda, et. al., 2017).

Os colmos de bambu, como material biológico, estão sujeitos à biodeterioração por insetos e fungos xilófagos, com vida útil de 1 a 3 anos e, se tratados com preservativos de 10 a 15 anos (Beraldo, et. al., 2003; Pereira e Beraldo, 2007). Os fungos causadores da degradação dos componentes lignocelulósicos dos colmos de bambu, são da classe dos basidiomicetos causando a podridão parda e branca. Os fungos de podridão parda deterioram os polissacarídeos (celulose e polioses) da parede celular, e os de podridão branca, os polissacarídeos e a lignina dos tecidos dos colmos de bambu (Zabel e Morrell, 1992; Tiburtino et. al., 2015).

A rápida degradação biológica dos colmos de bambu constitui-se em uma das desvantagens de sua utilização, sendo resultado de sua estrutura anatômica caracterizada por feixes fibrovasculares circundados por tecido de parênquima, e que armazenam os grânulos de amido

(Beraldo e Azzini, 2004; Pereira, 2012). O tratamento preservativo dos colmos de bambu para a proteção dos organismos xilófagos exige uma abordagem ecológica e utilização de produtos naturais e residuais (Saxena e Pandey, 2001), embora sejam aplicados e preconizados tratamentos com substâncias químicas sintéticas compostas por elementos tóxicos, com metais pesados (Espelho e Beraldo, 2008).

A efetividade do tratamento dos colmos de bambu está relacionada com a penetração e difusão dos preservativos no interior das células e tecidos que constituem a sua estrutura anatômica, seja pelo lume das células do sistema condutor (células do proto-metaxilema e do floema) e, pelas pontuações existentes em suas paredes e na dos elementos de sustentação (tecidos ou bainha de fibras) e de armazenamento (tecidos de parênquima), este geralmente preenchido por grânulos de amido (Santini, 1988; Silva, 2011).

Pelo exposto, estudos sobre a efetividade da aplicação de preservativos convencionais comparados aos naturais e as alterações induzidas na estrutura anatômica e na densidade de colmos de bambus do gênero *Guadua* sp., são importantes para preconizar as suas aplicações e usos finais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta e Preparo dos Corpos de Prova dos Colmos de Bambu

Os colmos dos bambus do gênero *Guadua* foram coletados na Floresta Secundária do Parque Zoobotânico, Campus Sede da Universidade Federal do Acre – UFAC, município de Rio Branco, Acre. As 12 amostras dos colmos de bambu foram retiradas no interior e na borda dessa floresta (Figura 1). Os colmos de bambu foram seccionados transversalmente em sua região basal, intermediária e apical e, destas cortadas seções longitudinais de 3 cm de largura com auxílio de lâmina e padronizados em comprimento de 50 cm com serra circular. Os corpos de prova de bambu foram lixados para a retirada das irregularidades em sua superfície e separados em lotes de 18 peças para cada tratamento, compreendendo um total de 72 taliscas (corpos de prova).

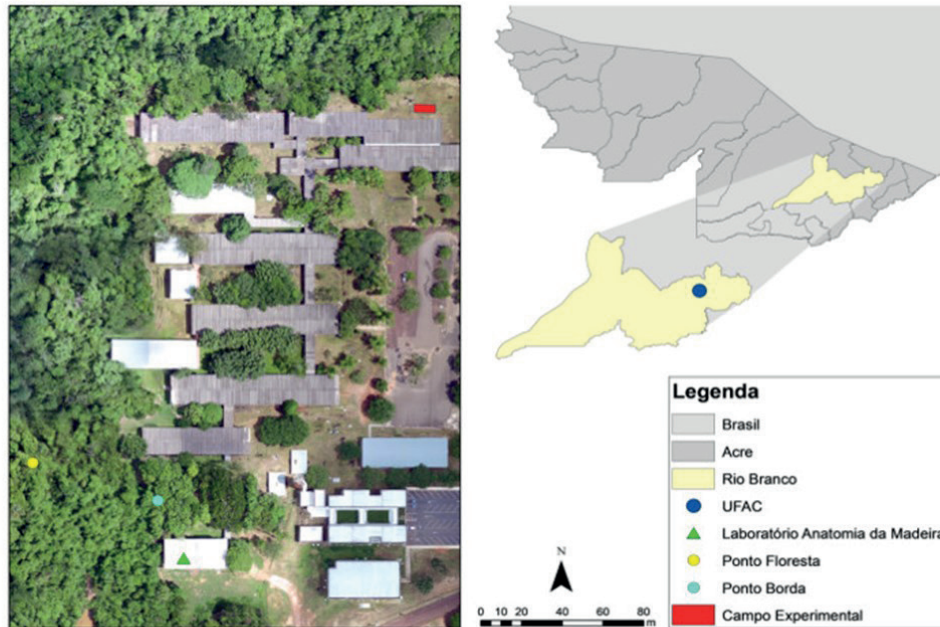


Figura 1. Área de coleta dos colmos de bambu no Parque Zoobotânico, Campus Sede da Universidade Federal do Acre – UFAC, município de Rio Branco, Acre.

Figure 1. Bamboo culms collection area in the Zoobotanical Forest Park, Campus of the Federal University of Acre – UFAC, municipality of Rio Branco, Acre.

2.2 Tratamentos Preservativos dos Colmos de Bambu

Os 4 tratamentos preservativos aplicados nos corpos de prova dos colmos de bambu *Guadua* foram: (a) **Tratamento banho quente-frio com água salgada:** os corpos de prova dos colmos de bambu foram imersos em água salgada (1kg de sal/10 l de água) e aquecidos à 90 °C de temperatura em tanque de preservação. Cada extremidade dos corpos de prova dos colmos permaneceu por 30 min nestas condições, retirados e submetidos a banho frio (1 semana) e mantidos para secagem natural em condições de laboratório; (b) **Tratamento banho quente-frio com óleo residual de fritura:** os corpos de prova dos colmos de bambu foram imersos em óleo de fritura (coletado para reciclagem e filtrado) em mistura com água (proporção 1:1) à temperatura de 90 °C e secados, de acordo com o descrito no item (a); (c) **Tratamento preservativo com Borato de Cobre Cromatado (CCB):** os corpos de prova dos colmos

de bambu foram imersos em solução de CCB (200 g bórax, 200 g sulfato de cobre, 40 ml ácido acético, 20 l água) por 2 semanas e secados, de acordo com o item (a); (d) **Tratamento testemunha:** os corpos de prova dos colmos de bambu foram secos (85 °C, 72 h) em estufa de circulação forçada e mantidos em condições de laboratório.

2.3 Caracterização Anatômica Microscópica dos Colmos de Bambu

Corpos de prova orientados dos colmos de bambu (1 x 3 x 5 cm; transversal, “radial” e tangencial) foram imersos em água aquecida; obtidas seções transversais finas (15-20 µm de espessura) com navalha de aço em micrótomo de deslizamento; as seções do lenho foram tratadas em água sanitária, coradas (safranina, lugol e azul de astra) e montadas em lâminas permanentes com resina, de acordo com a metodologia da IAWA (1989) e de Burger e Richter (1991).

2.4 Quantificação dos Elementos Anatômicos dos Colmos de Bambu

As seções transversais do lenho dos colmos de bambu dos diferentes tratamentos

foram examinadas sob estereoscópio de luz (25-400x) e coletadas imagens com câmera digital e, em seguida, determinada a % dos tecidos de parênquima, feixes vasculares e fibras com o software Image - Pro Plus (Figura 2, A-B).

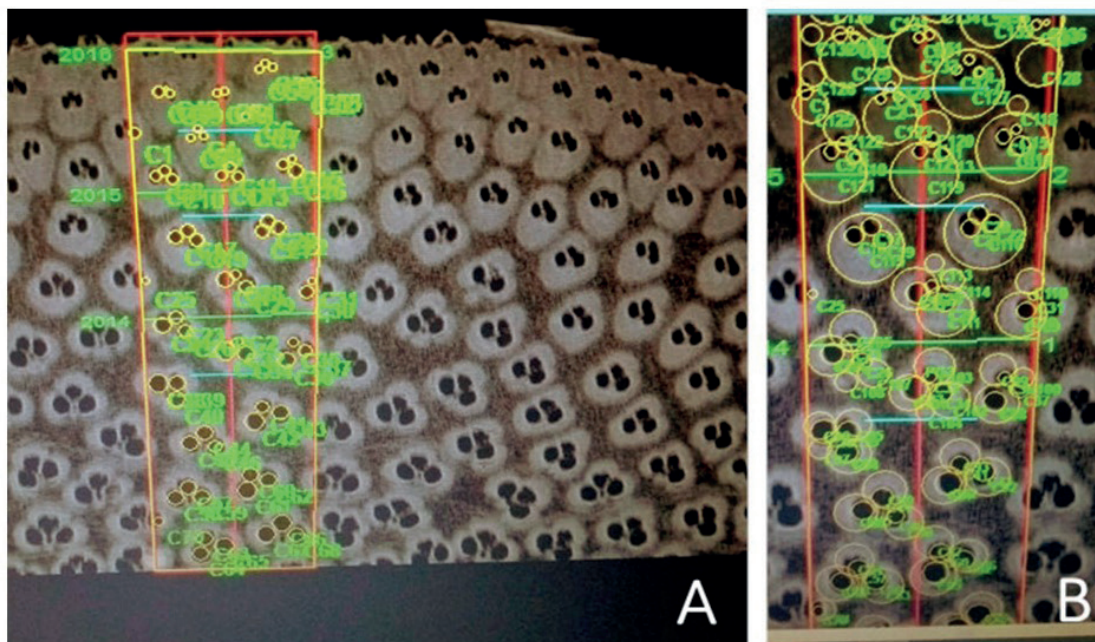


Figura 2. Seção transversal do colmo de bambu *Guadua* sp. - procedimento de medição dos feixes vasculares (A) fibras e (B) parênquima com o software Image-Pro Plus.

Figure 2. Bamboo *Guadua* culm cross-section - procedure for measuring vascular bundles (A) fiber bundles and (B) parenchyma with the Image-Pro Plus software.

2.5 Densidade dos Colmos de Bambu por Densitometria de Raios X

Nos corpos de prova dos colmos de bambu foram (i) demarcadas e cortadas 3 sub-amostras (1 x 3 x 5 cm) nas posições das extremidades e intermediária (Figura 3A), (ii) coladas em suporte de madeira e cortadas transversalmente (2 mm, espessura) no equipamento de dupla serra circular (Figura 3B); (iii) acondicionadas em câmara de

climatização (20°C; 60% UR, 24 h, 12% umidade) (Figura 3C); (iv) irradiadas no equipamento de raios X (Faxitron MX20-DC12) com escala (10 x 10 mm) e cunha de calibração de acetato de celulose (Figura 3D); (v) obtida a imagem digital da seção transversal dos colmos evidenciando os elementos anatômicos (Figura 3E); (vi) determinados os perfis de microdensidade e os valores de densidade aparente média, mínima e máxima com o software WinDendroTM (Geroto, 2014).

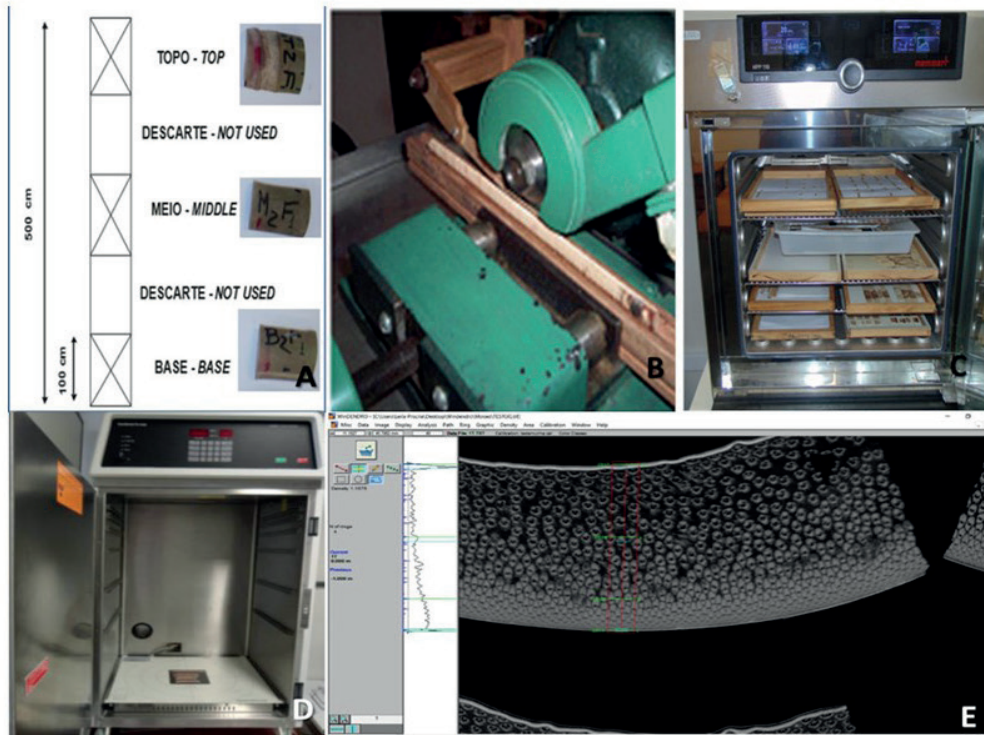


Figura 3. Corpos de prova dos colmos de bambu *Guadua* sp. (A) amostragem nos colmos de bambu; (B) seccionamento transversal do colmo (2 mm) em equipamento de dupla serra paralela; (C) acondicionamento das amostras dos colmos em câmara de climatização; (D) equipamento de raios X Faxitron MX20- DC12; (E) imagem digital da seção transversal de colmo de bambu e aplicação do software WinDendroTM para a obtenção dos perfis de microdensidade e da densidade aparente média.

Figure 3. Bamboo culms of *Guadua* sp. (A) sampling of bamboo stalks; (B) cross sectioning of the bamboo stalk (2 mm) in parallel double saw equipment; (C) storage of bamboo stalks in an air-conditioning chamber; (D) Faxitron MX20-DC12 X-ray equipment; (E) digital image of the bamboo culm cross section and application of the WinDendroTM software to obtain the microdensity profiles and the mean apparent density.

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Os valores médios das características anatômicas (% de fibras, feixes vasculares e parênquima) e física (densidade aparente) dos colmos de bambu foram submetido à análise de variância (ANOVA) e ao teste de médias de Tukey para a comparação das médias entre todos os tratamentos. O agrupamento das propriedades anatômicas e física dos colmos de bambu realizado pela técnica de Análise de Componentes Principais, com o

programa Statistica 7, analisando as covariâncias e as correlações, baseadas nas raízes (ou valores) das variáveis (características) e nos vetores gerados, em matrizes simétricas, considerando as duas primeiras raízes extraídas que apresentarem os maiores autovalores. A distância Euclidiana foi utilizada com base no conjunto de amostras de bambu de cada tratamento para verificar as similaridades ou dissimilaridades e quais propriedades anatômicas e física apresentaram maior diferença significativa entre as amostras dos diferentes tratamentos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização Anatômica Microscópica dos Colmos de Bambu

A estrutura anatômica microscópica da seção transversal dos colmos de bambu *Guadua* sp, em 2 ampliações (Escala 50 µm e 200 µm), evidencia o efeito dos tratamentos pela análise dos tecidos vasculares, de sustentação e de armazenamento (Figura 4, A-F). A estrutura anatômica dos colmos de bambu submetidos ao tratamento de banho quente-frio de água salgada foi similar à dos colmos dos tratamentos testemunha e o com óleo residual. No entanto, observam-se diferenças no conteúdo do lume dos elementos vasculares e, principalmente, no das células de parênquima e da bainha de fibras em comparação com o observado nesses tecidos do tratamento controle (testemunha) (Figura 4, A-B) pelo efeito da solução diluída de cloreto de sódio. Da mesma forma, verifica-se a deposição de cristais de sódio no lume de algumas células do parênquima dos colmos de bambu (Figura 4, C-D).

A estrutura anatômica dos colmos de bambu do tratamento banho quente-frio com óleo residual é caracterizada pelo preenchimento do lume das células do parênquima, das fibras da bainha e dos elementos vasculares do metaxilema e do floema – também com aumento do seu diâmetro – por incrustações de óleo (Figura 4, E-F). Essas

observações indicam uma eficiente difusão dos compostos do óleo residual pelas pontuações e lume das células dos tecidos dos colmos de bambu e, em seguida, a sua deposição, contrastando com o tratamento controle (testemunha). De forma similar, Liu et al., (2020) verificou a deposição de resinas à base de álcool furfural no lume das células dos colmos de bambu.

Por outro lado, Espelho (2007) analisando a difusão dos elementos químicos do preservativo CCB em colmos de bambu-gigante, *Dendrocalamus giganteus* (Wallich ex Munro), verificou pequena deposição de minerais no lume das células do parênquima, indicativa de um tratamento deficiente aos organismos xilófagos.

Esse resultado foi corroborado por Gauss et al. (2018) na análise da difusão dos sais de octaborato dissódico nos tecidos dos colmos de bambu-gigante, *Dendrocalamus asper* (Schult.) Backer, pela inexistência em seu parênquima radial – a exemplo do lenho das folhosas e coníferas – restringindo a difusão pelas células dispostas longitudinalmente, principalmente as dos tecidos vasculares.

Os resultados indicam o potencial do método de imersão, na aplicação dos preservativos naturais e residuais pela eficiente difusão, distribuição e fixação no lume das células dos tecidos dos colmos de bambu *Guadua*, em comparação com menor efetividade dos preservativos à base de boro.

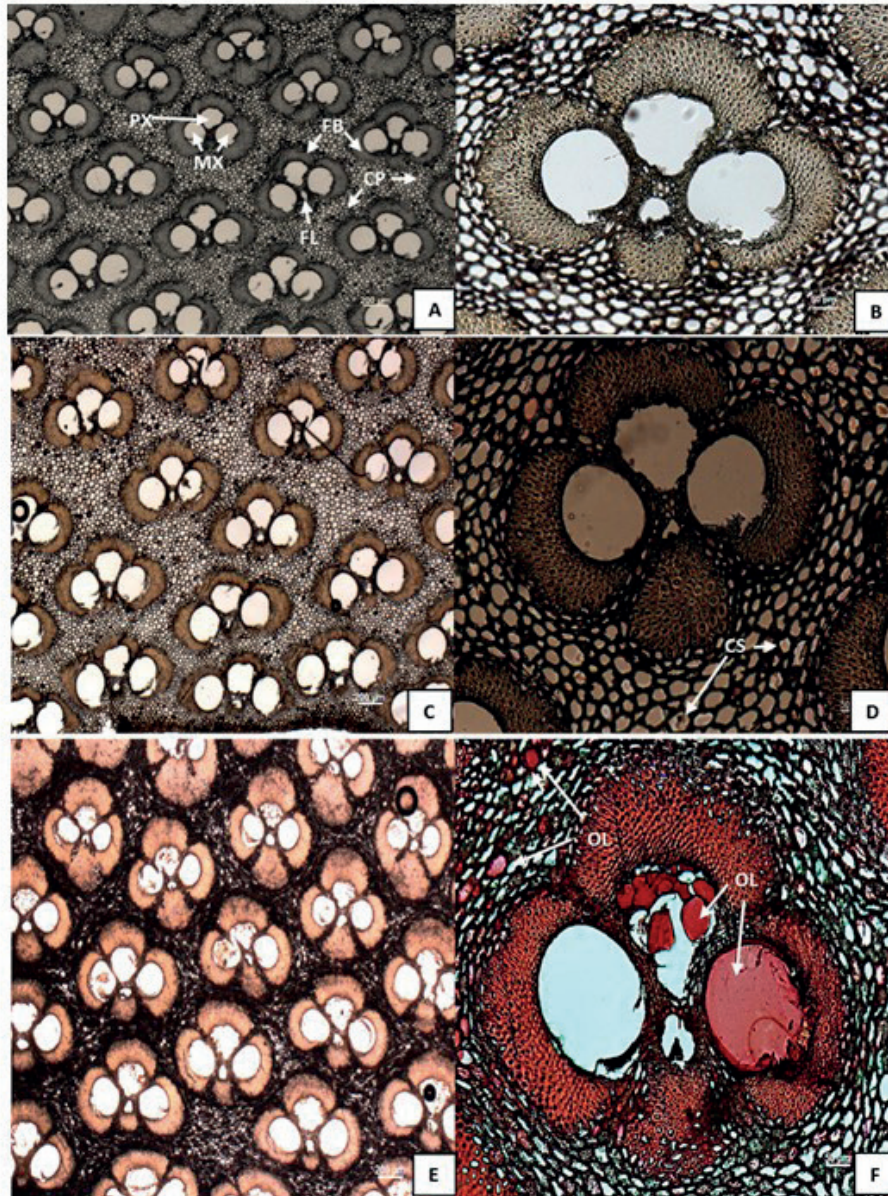


Figura 4. Seção transversal dos colmos de bambu – Tratamentos: (A, B) testemunha; (C, D) água salgada; (E, F) óleo, evidenciando a estrutura anatômica (feixes vasculares, fibras, parênquima).

Figure 4. Bamboo culm cross-section – Treatments: (A, B) control; (C, D) salt water; (E, F) oil, showing the anatomical structure (vascular bundles, fibers, parenchyma).

* PX – Protoxilema, MX – Metaxilema, FL – Floema, FB – Fibras, CP – Células Parenquimáticas, CS – Cristais de Sal, OL – Retenção de Substância Oleaginosa.

* PX – Protoxylem, MX – Metaxylem, FL – Phloem, FB – Fibers, CP – Parenchymal Cells, CS – Salt Crystals, OL – Oleaginous Substance Retention.

3.2 Quantificação dos Elementos Anatômicos dos Colmos de Bambu

Os resultados da % de área da bainha de fibras dos colmos de bambu *Guadua* indicaram diferenças entre os tratamentos. Os colmos de bambu do tratamento preservativo com Borato de Cobre Cromatado (CCB) contiveram maior % de área de bainha de fibras e com diferença significativa ($p < 0,05$) em relação ao tratamento de água salgada e testemunha. Por outro lado, a % de bainha de fibras dos colmos de bambu tratados com óleo residual foi menor que a do tratamento com CCB e maior que a do tratamento testemunha, com diferença significativa com o tratamento de sal diluído ($p < 0,05$), com % de área de bainha de fibras, não diferindo significativamente em relação à testemunha (Figura 5A).

Nesse aspecto, Silva e Beraldo (2012) analisaram o teor de bainha de fibras de taliscas de bambu tratadas com diferentes concentrações (10-20-30%) de ácido pirolenhoso, com água quente e testemunha. Observou-se maior % de feixe de fibras nos tratamentos com água quente e ácido pirolenhoso 30% considerados como os mais eficientes, a exemplo dos tratamentos de CCB e com óleo residual.

Os resultados da avaliação da % de área dos tecidos vasculares dos colmos de bambu indicaram um maior valor no tratamento com solução de CCB, com diferença significativa ($p < 0,05$) em relação aos 3 tratamentos. Da mesma forma, há diferença significativa ($p < 0,05$) da % de área dos feixes vasculares dos tratamentos testemunha e com água salgada, com o tratamento com óleo residual sem diferença significativa com os tratamentos testemunha e com água salgada. Os colmos de bambu tratados com CCB mostraram maior % de área de tecidos vasculares em relação aos da testemunha; o tratamento com água salgada resultou em menor % de área vascular em relação à testemunha, de 5,51 e 8,38 %, respectivamente (Figura 5B).

Os tecidos vasculares ocupam 10% da área dos colmos de bambu e se constituem na estrutura anatômica mais importante na impregnação e difusão de preservativos pela ausência de elementos

dispostos no sentido radial (Liese, 1985; Espelho, 2007; Pereira e Beraldo, 2007). Considera-se que a maior % de área de tecido vascular dos colmos de bambu no tratamento com CCB, deve-se ao preenchimento do lume dos elementos vasculares pelo boro no processo de imersão, e que mantém o seu maior diâmetro, sem uma usual contração no processo de secagem.

Os resultados da avaliação da % de área dos tecidos de parênquima, destacam-se os colmos de bambu do tratamento com água salgada com diferença significativa ($p < 0,05$) em relação aos de óleo residual e o com CCB; não diferindo estatisticamente com a testemunha. Os colmos de bambu do tratamento com óleo residual não diferiram estatisticamente com os da testemunha ($p > 0,05$), mas com diferença significativa ($p < 0,05$) em relação ao tratamento com CCB, com a menor % de área de parênquima, em relação aos demais tratamentos (Figura 5C).

As células do parênquima dos colmos dos bambus possuem paredes delgadas e não lignificadas, com pontoações simples e preenchidas por grânulos de amido em uma das fases do desenvolvimento dos colmos (Tomazello Filho e Azzini, 1987). A imersão dos colmos de bambu em água por longo período pode levar à depleção dos grânulos de amido e na alteração das membranas das pontoações simples e, assim, aumentando a sua permeabilidade (Liese, 2004). A menor % de área de parênquima observada nos colmos de bambu tratados com CCB, em relação aos dos demais tratamento, parece relacionada com a sua imersão por 7 dias na solução de boro. Por outro lado, Singh (2003) relata que o aquecimento dos colmos de bambu em água resulta no processo de hidratação e de expansão dos grânulos de amido e, assim, podendo aumentar a % de área de parênquima. Ainda, Appezzato-da-Glória e Carmello-Guerreiro (2012) indicam que as células parenquimáticas dos colmos de bambu podem armazenar os cristais da solução preservativa – como para o tratamento de solução de água com sais de NaCl – aumentando a % de área de parênquima e diminuindo a % de fibras e de tecidos vasculares.

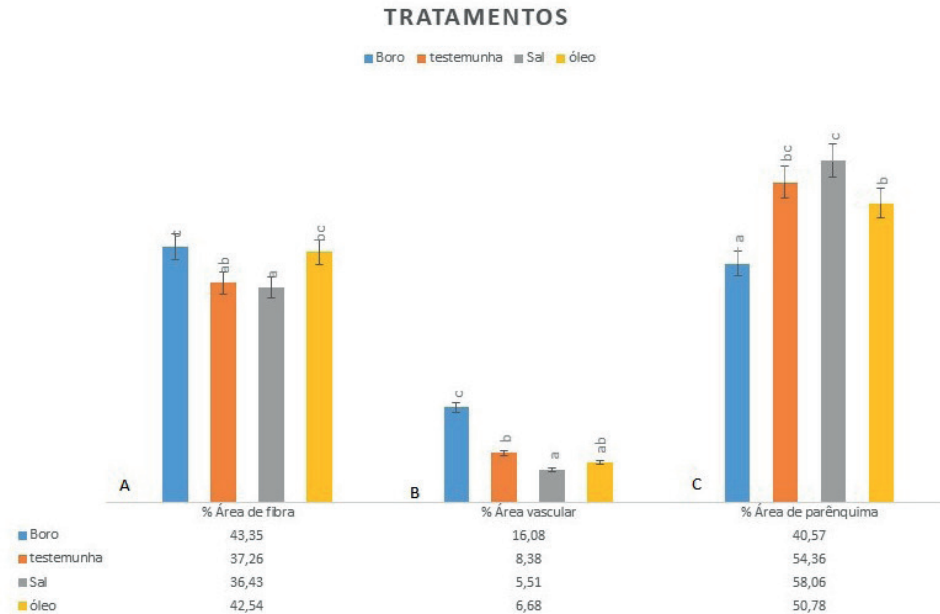


Figura 5. Estrutura anatômica dos colmos de bambu - % de área de (A) fibras; (B) feixes vasculares e (C) parênquima, dos tratamentos com (i) boro, (ii) testemunha, (iii) água salgada e (iv) óleo reciclado.

Figure 5. Bamboo culm anatomical structure - % area of (A) fibers; (B) vascular bundles and (C) parenchyma, from treatments with (i) boron, (ii) control, (iii) salt water and (iv) recycled oil.

*Colunas com letras distintas diferem estatisticamente a nível de significância de 5% ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

* Columns with different letters differ statistically at a significance level of 5% ($p < 0.05$) by the Tukey test.

3.3 Característica Física dos Colmos de Bambu: Densidade Aparente por Raios X

Os colmos de bambu dos tratamentos testemunha e com óleo reciclável apresentaram maior e significativo ($p < 0,05$) valor de densidade aparente em relação aos dos tratamentos com CCB e com solução de água salgada (Figura 6). Esses tratamentos preservativos utilizam a impregnação e saturação de soluções salinas nos tecidos dos colmos de bambu *Guadua*, induzindo alterações na sua estrutura anatômica, higroscopicidade etc. e que afetam a sua densidade aparente.

Os resultados corroboram aos obtidos para os colmos de bambu *Guadua*, por Silva et al., (2020): menor densidade aparente com a aplicação de CCB e solução de água e sal. No tratamento

com banhos quente-frio da solução de água e sal – maior concentração de sais de NaCl – ocorre uma difusão dos sais por osmose e, também, pelo lume e pontoações das células dos colmos de bambu. Nas células dos tecidos de parênquima ocorre o intumescimento e hidrólise dos grânulos de amido com o aumento na % de células e a depleção do amido (Figuras 4, C-D; 5C), resultando na diminuição da sua densidade aparente. No tratamento com solução de CCB, os colmos de bambu apresentaram maior % de elementos vasculares em relação aos demais tratamentos resultando em sua menor densidade (Figuras 5B, 6). Vários autores, como Tomazello Filho (1985), Ruy (1998) e Geroto (2014) indicam que a maior porcentagem de células de paredes delgadas, características dos tecidos de parênquima, resultam em menor densidade do lenho.

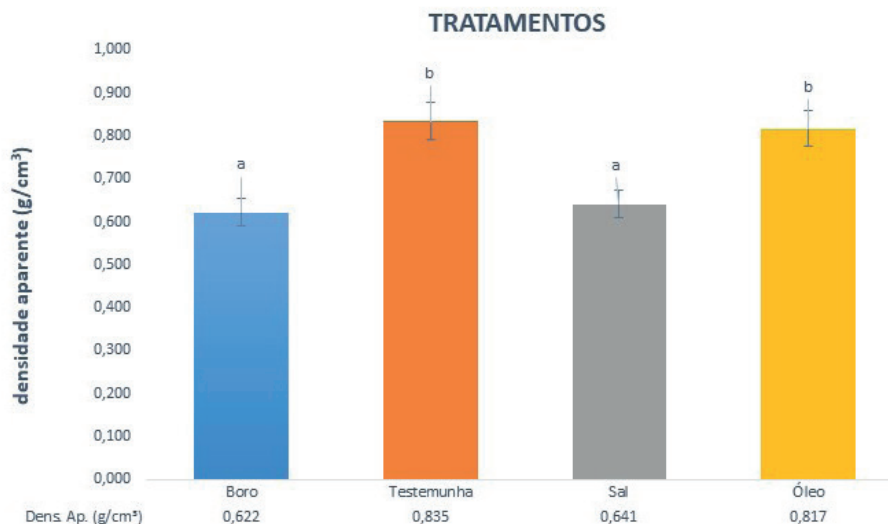


Figura 6. Densidade aparente dos colmos de bambu – Tratamentos com (i) boro, (ii) testemunha; (iii) água salgada; (iv) óleo reciclado.

Figure 6. Bamboo culms apparent density – Treatments with (i) boron, (ii) control; (iii) salt water; (iv) recycled oil.

*Colunas com letras distintas diferem estatisticamente a nível de significância de 5% ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

* Columns with different letters differ statistically at a significance level of 5% ($p < 0.05$) by the Tukey test.

3.4 Similaridade das Características Anatômicas e Física dos Colmos

A aplicação da Análise de Componentes Principais (PCA) na análise das características anatômicas e física (densidade aparente) dos colmos de bambu *Guadua*, submetidos aos tratamentos preservativos propicia a formação de 3 grupos: tratamento com solução de boro (primeiro, à esquerda inferior), com água salgada (segundo, à direita inferior), com óleo reciclado e testemunha (terceiro, ao centro e direita, parte superior) (Figuras 7, A-B).

A PCA demonstra no Fator 1 (Eixo x) a formação de grupo distinto caracterizado pelo tratamento dos colmos de bambu com solução de boro, em relação aos demais tratamentos, explicando 65,52% da variância. No Fator 2 (Eixo y) foi de 25,67% o peso para explicar a variância (Tabela 1). Verifica-se uma distinta formação de 2 grupos de tratamentos: o do preservativo CCB considerando que a % de área das células do parênquima e da bainha de fibras (36,79 e 30,27%, respectivamente) contribuíram para a distinção no eixo X (Fator 1), diferindo-o dos demais grupos 1 (Tabela 2, Figura 7B).

Em relação ao Fator 2 (Eixo y), a densidade aparente dos colmos de bambu, com a contribuição de 62,58% induziu a diferenciação dos grupos, notando-se que o tratamento dos colmos com água salgada se diferenciou dos demais do grupo 3 (tratamentos testemunha e com óleo reciclado) (Figura 7-B, Tabela 2), indicativo da diferença significativa da densidade aparente dos colmos de bambu das amostras do grupo 2, em relação ao 3.

A análise dos resultados dos dendrogramas de dissimilaridade (distância Euclidiana, em %) indicou que 5 das 6 amostras dos colmos de bambu *Guadua* sp. do tratamento preservativo de boro constituem um grupo diferenciado pela Distância Euclidiana de 98% (Figura 8B), influenciado pela menor densidade aparente e maior % de área vascular em comparação com os demais tratamentos (Figura 8 A-B). Os colmos de bambu dos demais tratamentos preservativos constituem um grupo caracterizado pela maior % de área de bainha de fibras e de células de parênquima, em relação ao CCB.

Considerando o teor de células de parênquima no colmo dos bambus *Guadua*, destaca-se o tratamento banho quente-frio de água salgada com maior % de parênquima, seguindo-se o tratamento testemunha.

Os colmos de bambu dos tratamentos com solução preservativa de boro e banho quente-frio com óleo reciclado apresentaram maior % de perda de tecidos de parênquima, comparados com o tratamento testemunha, constituindo-se em potencial parâmetro de resistência aos organismos xilófagos pela depleção dos grânulos de amido armazenados no lume das células de parênquima.

A redução da % de células de parênquima dos colmos de bambu tratados com solução preservativa de boro foi descrita por Miranda (2016) para 5 espécies de *Guadua*, indicando para os tratamentos testemunha valores de 47-55%, na faixa de variação descrita no presente trabalho (Figura 5).

Em relação ao uso do preservativo CCB no Brasil e em outros países, SGAI (2000) descreve a iniciativa da substituição do boro pelo arsênio do CCA, mas, os resultados não são considerados satisfatórios pela solubilidade e lixiviação do boro nas peças tratadas. Esses preservativos são tóxicos e exigem cuidados no manuseio, tratamento e destinação final das peças tratadas, com a possibilidade da aplicação dos preservativos hidrossolúveis, sem a fixação do sal, difundindo-se com efetividade no lenho verdes ou recém cortados. Os preservativos com boro são recomendados no tratamento de colmos de bambu e de seus produtos, restringindo o uso para áreas não cobertas, pelo risco da lixiviação. No entanto, estão

disponíveis tratamentos de colmos de bambu que não utilizam preservativos químicos de elevada toxicidade, aplicados em larga escala países da América Latina e outros com tradição na cultura e utilização dos bambus. Esses métodos denominados tradicionais podem ter efeito de proteção limitado, mas, têm importantes vantagens em relação aos químicos (Liese, 2004).

A análise das características anatômicas e física dos colmos de bambu *Guadua* tratados com CCB indicou aumento da % de área da bainha de fibras e diminuição da % área de parênquima, importantes parâmetros para resistência de microrganismos xilófagos. No entanto, verificou-se significativa diminuição da densidade aparente dos colmos, podendo comprometer a sua resistência físico-mecânica e restringir o uso externo. Por outro lado, a característica anatômica % de área de bainha de fibras dos colmos de bambu *Guadua* tratados com banho quente-frio de óleo reciclado é similar à do tratamento preservativo com CCB, sem apresentar, no entanto, a redução de sua densidade aparente, o que se constitui em vantagem na aplicação dos colmos em áreas externas. O tratamento com óleo residual avaliado pela perda de massa de taliscas de colmos de bambu enterradas no solo por 6 meses, propiciou a sua classificação em altamente e moderadamente resistente e, desta forma, indicando o potencial para a preservação de bambus (Queiroz, 2019).

Tabela 1. Autovalores e autovetores da análise multivariada por componentes principais da propriedade física dos colmos de bambu dos diferentes tratamentos.

Table 1. Eigenvalues and eigenvectors of the multivariate analysis by main components of the physical property of bamboo culms of the different treatments.

Fator	Auto-valor	% Total variância	Auto-valor Acumulado	Acumulado %
1	2,62	65,52	2,62	65,52
2	1,03	25,67	3,65	91,19
3	0,35	8,81	4,00	100,00

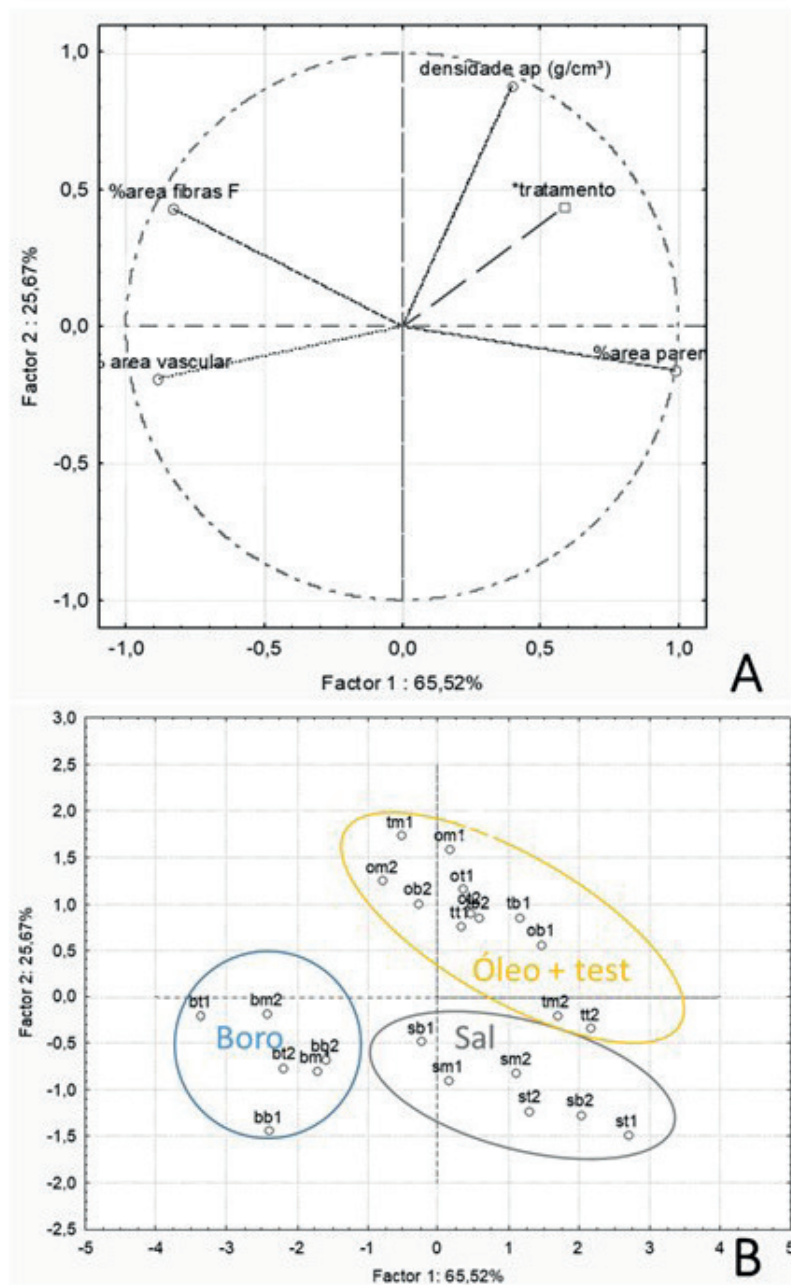


Figura 7. Análise de Componentes Principais - (A) relação das características anatômicas e física dos colmos de bambu; (B) dos grupos de colmos de bambu dos diferentes tratamentos.

Figure 7. Principal Component Analysis - (A) relationship of bamboo culms anatomical and physical characteristics; (B) the groups of bamboo culms of the different treatments.

Tabela 2. Contribuição das características anatômicas e física dos colmos de bambu dos diferentes tratamentos.
 Table 2. Contribution of the bamboo culms of anatomical and physical characteristics of the different treatments.

Variáveis	Fator 1 (%)	Fator 2 (%)
dens_ap	9,40	62,58
% vasos	23,54	11,15
% parenq	36,79	7,53
% fibras	30,27	18,74

Legenda: dens_ap – Densidade aparente; % parenq – percentagem de parênquima.

Subtitle: dens_ap – apparent specific mass; % parenq – percentage of parenchyma.

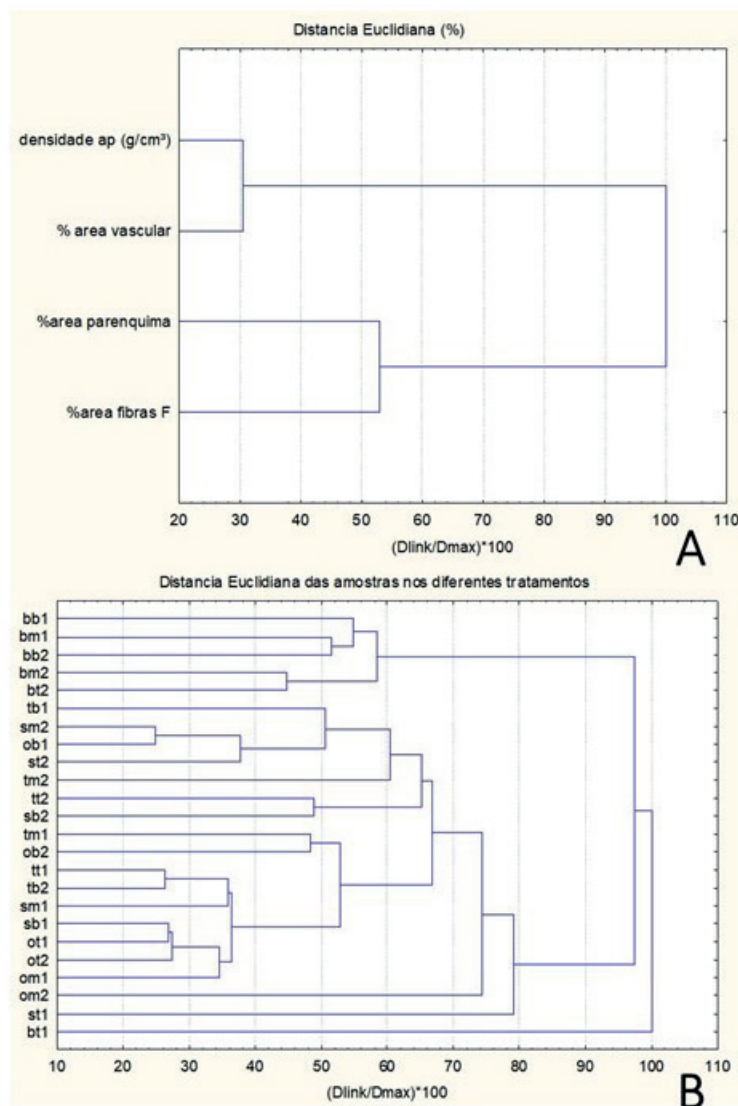


Figura 8. Dendrograma de dissimilaridade (distância Euclidiana, em %): relação das (A) características anatômicas e física dos colmos de bambu; (B) dos colmos de bambu dos diferentes tratamentos.

Figure 8. Dendrogram of dissimilarity (Euclidean distance, in %): relationship of the (A) bamboo culms anatomical and physical characteristics; (B) the bamboo culms of the different treatments.

4 CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho permitem concluir que (i) colmos de bambu de *Guadua* sp submetidos a tratamentos preservativos com água salgada e óleo residual apresentaram diferenças nas características anatômicas em relação à testemunha; (ii) colmos do tratamento testemunha apresentaram diferença significativa nas características anatômicas e física em relação ao tratamento com CCB e água salgada; (iii) colmos tratados com óleo residual e testemunha não apresentaram diferença significativa nas características anatômicas e física; (iv) a determinação da efetividade dos tratamentos preservativos dos colmos de bambu e as alterações na sua anatomia e densidade são necessárias na avaliação da proteção dos organismos xilófagos, com destaque para a aplicação de óleo residual em substituição ao CCB para áreas externas.

5 AGRADECIMENTOS

À Maria Bermudez pelos cortes histológicos e Aparecido Siqueira pelos corpos de prova para a densitometria de raios X; ao Laboratório de Anatomia, Identificação e Densitometria de Raios X em Madeira do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP; ao CNPq e a Universidade Federal do Acre pela concessão das bolsas de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S.M. **Anatomia vegetal**. 3. ed. Minas Gerais: UFV, 2012. 438 p.

BERALDO, A.L. et al. Bambu: características e aplicações. In: FREIRE, W.J.; BERALDO, A.L. (Eds.). **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Campinas: UNICAMP, 2003. p. 253-319.

_____.; AZZINI. **Bambu: características e aplicações**. Guaíba, RS: Livraria Editora Agropecuária, 2004. 127 p.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Editora Nobel, 1991. 154 p.

ESPELHO, J.C.C. **Tratamento químico de colmos de bambu pelo método de Boucherie modificado**. 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

_____.; BERALDO, A.L. Avaliação físico-mecânica de colmos de bambu tratados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiente**, v. 12, n. 6, p. 645-652, 2008.

GAUSS, C.; DOMINGUEZ, A.L.S.; SAVASTANO JR, H. Estabilidade dimensional e absorção de água do bambu *Dendrocalamus asper* tratado com ácido cítrico e sais de boro. In: CONGRESSO LUSOBRASILEIRO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 3., 2018, Coimbra. **Anais...** Coimbra, 2018. p. 1-13. (Conference paper).

GEROTO, P.G. **Caracterização anatômica e física – por densitometria de raios X – de colmos de *Dendrocalamus asper* Backer, *Dendrocalamus latiflorus* Munro e *Guadua angustifolia* Kunth**. 2014. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A.B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 107-114, 2005.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMY (IAWA). List of microscopic features for wood identification. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 3, 1989.

JUDZIEWICZ, E.J. et al. **American bamboos**. 1. ed. Washington: Smithsonian, 1999. 392 p.

LIESE, W. **Bamboos - Biology, silvics, properties, utilization**. Eschborn: Schriftenreihe der GTZ, 1985. n. 180, 132 p.

_____. A preservação do colmo de bambu com relação à sua estrutura. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL GUADUA, 2004, Pereira. **Anais...** Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2004. p 10.

- LIMA, D.N.; AFONSO, D.G.; PONTES, S.M.A. Análise comparativa da estabilidade dimensional de duas espécies de bambu ocorrentes na Amazônia Ocidental. In: 4º CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 4., 2012, Curitiba. **Anais...** Curitiba: CFP, 2012.
- LIU M. et al. The Distribution of Furfuryl Alcohol (FA) Resin in Bamboo Materials after Surface Furfurylation. **Materials (Basel)**. v. 13, n. 5, p. 1-13, 2020.
- MIRANDA, E.M. de. et al. Estrutura populacional e o potencial de uso de *Guadua* cf. *superbana* região do Alto Acre. In: DRUMOND, P. M. & WIEDMAN, G. (Ed.). **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. Rio de Janeiro: ICH, 2017. p. 161-178.
- MIRANDA, A.F.A. **Estudo anatômico do entrenó de *Guadua* Kunth (Poaceae: Bambusoideae) ocorrentes no estado do Acre - Brasil**. 2016. 58 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- MURAD, J.R.L. **Estudo experimental das propriedades físicas, mecânicas e aplicações estruturais do bambu *Guadua* spp. de Assis Brasil – AC**. 2011. 203 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- PEREIRA, M.A.R. **Projeto bambu: Introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicações**. 2012. 200 f. Tese (Livre-Docência em Design e Construção com bambu) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru.
- _____.; BERARDO, A.L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru, SP: Canal 6 Projetos Editoriais, 2007. 231 p.
- QUEIROZ, M.N. **Determinação da eficiência de métodos preservativos naturais, residuais e convencionais em colmos de *Guadua* spp. em diferentes microambientes**. 2019. 78 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco.
- RUY, O.F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia**. 1998. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Madeira) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SANTINI, E.J. **Biodegradação e preservação da madeira**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1988. 125 p.
- SAXENA, S.; PANDEY, A.K. Microbial metabolites as eco-friendly agrochemicals for the next millennium. **Applied Microbiology Biotechnology**, v. 55, p. 395-403, 2001.
- SGAI, R.D. **Fatores que afetam o tratamento para preservação de madeiras**. 2000. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- SILVA, J.N. et al. Avaliação das modificações das propriedades físicas do colmo de *Guadua* sp. submetidos a tratamentos preservativos convencionais, naturais e residuais. **Scientia Naturalis**, v. 2, n. 1, p. 188-203, 2020.
- SILVA, R.G. **Tratamento de bambu com ácido pirolenhoso contra a deterioração por brocas**. 2011. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- _____.; BERARDO, A.L. Determinação do teor de fibras do bambu por análise de imagem de corte transversal. In: XII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS EM MADEIRA. 2012, Vitória. **Anais...** Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2012. 8 p.
- SILVEIRA, M. **A Floresta Aberta com Bambu no Sudoeste da Amazônia: Padrões e Processos em Múltiplas Escalas**. 2001. 121 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Nacional de Brasília, Brasília.
- SINGH, N. et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, n. 2, p. 219-231, 2003.

TIBURTINO, R.F. et al. Tratamento Preservativo de Duas Espécies de Bambu por Imersão Prolongada e Boucherie Modificado. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 124-133. 2015.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **Revista IPEF**, n. 29, p. 37-45, 1985.

_____.; AZZINI, A. Estrutura anatômica, dimensões das fibras e densidade básica de colmos de *Bambusa vulgaris* Schrad. **Revista IPEF**, n. 36, p. 43-50, 1987.

ZABEL, R.A.; MORRELL, J.J. **Wood microbiology: decay and its prevention**. San Diego: Academic, 1992. 476 p.