



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**CARLA VANESSA MORAES DA SILVA**

**CRONOSSEQUÊNCIA DE DETERIORAÇÃO NA ANATOMIA DE MADEIRAS  
TROPICAIS ESTOCADAS EM ÁREA DE MINERAÇÃO**

**BELÉM - PARÁ  
2018**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**CARLA VANESSA MORAES DA SILVA**

**CRONOSSEQUÊNCIA DE DETERIORAÇÃO NA ANATOMIA DE MADEIRAS  
TROPICAIS ESTOCADAS EM ÁREA DE MINERAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais na área de concentração Manejo de Ecossistemas Florestais, para a obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientadora: Dra. Marcela Gomes da Silva

Coorientador: Dr. Fábio Akira Mori

**BELÉM - PARÁ  
2018**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**CARLA VANESSA MORAES DA SILVA**

**CRONOSSEQUÊNCIA DE DETERIORAÇÃO NA ANATOMIA DE MADEIRAS  
TROPICAIS ESTOCADAS EM ÁREA DE MINERAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais na área de concentração Manejo de Ecossistemas Florestais, para a obtenção do título de Magister Scientiae.

Aprovado em 10 de julho de 2018.

Dra. Marcela Gomes da Silva – Orientadora  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

Dr. Fábio Akira Mori – Coorientador  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS – UFLA

**BANCA EXAMINADORA**

Dra. Cláudia Viana Urbinati – 1º Examinadora  
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ – UEPA

Dra. Lina Bufalino – 2º Examinadora  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

Dra. Gracialda Costa Ferreira – 3º Examinadora  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

Dra. Graciene da Silva Mota – Suplente  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS – UFLA

BELÉM - PARÁ  
10 DE JULHO DE 2018

## AGRADECIMENTOS

À Deus acima de todas as coisas.

À Universidade Federal Rural da Amazônia pela realização do curso.

Ao CNPq pelo financiamento da bolsa de estudo.

À orientadora Dra. Marcela Gomes e coorientador Dr. Fábio Akira, por todo suporte e compreensão.

À Dra. Gracialda Costa, coordenadora do Projeto Deterioração da Madeira, pela oportunidade de desenvolver essa pesquisa aliada ao projeto.

À Mineração Paragominas S.A. do grupo Hydro, pela doação do material para estudo, apoio logístico em campo durante as coletas e financiamento do intercâmbio com Lavras - Minas Gerais.

À Embrapa Amazônia Oriental pela disponibilidade para análises.

Ao Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal de Lavras - Minas Gerais e todos seus integrantes pelo apoio laboratorial, parceria incansável e amizade, em especial a Dra. Graciene Mota, Dra. Cassiana Ferreira e graduanda Camila Chagas.

À Dra. Cláudia Urbinati e Dra. Lina Bufalino, pelos ensinamentos, esclarecimentos e contribuições incríveis desde o início dessa pesquisa.

Aos graduandos bolsistas do projeto, Karolina Ferreira e Eudes Hohlenwerger, pela ajuda em campo e apoio durante o desenvolvimento dessa pesquisa.

À minha família e amigos que estiveram sempre presentes dando todo carinho e apoio emocional. A todos meu muito obrigada!

SILVA, Carla Vanessa Moraes. **Cronossequência de deterioração na anatomia de madeiras tropicais estocadas em área de mineração.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural da Amazônia. 2018.

O armazenamento e permanência de madeiras em pátios de estocagem a céu aberto as deixam sujeita ao processo de intemperismo natural; causando dificuldade de identificação das espécies pelas modificações nas propriedades organolépticas e degeneração anatômica estrutural das madeiras em relação ao tempo de estocagem gerando maior suscetibilidade à deterioração acelerada das mesmas. O objetivo desse trabalho é avaliar qualitativamente e quantitativamente o efeito do intemperismo natural na degradação estrutural anatômica de duas espécies tropicais diante do tempo de estocagem e posição das toras nas pilhas de madeira em função das variáveis: (i) Aspecto geral das toras, (ii) Estrutura anatômica do xilema secundário, (iii) Densidade básica e (iv) Teor de extrativos totais. A alocação das madeiras de *M. elata* e *T. glauca* em pátios de estocagem sob efeito do processo de intemperismo natural afetou desfavoravelmente a estrutura anatômica das espécies, apresentando fragilização estrutural, variações nas dimensões dos elementos e conseqüentemente perdas físicas e químicas que comprometem as propriedades e qualidade dessas madeiras. Os indícios de degradação foram evidentes com o aumento temporal de estocagem e proximidade com o solo, sendo as toras mais deterioradas dos anos de 2009 e 2013 mais próximas ao solo para ambas às espécies.

**Palavras-chave:** Intemperismo. Degradação natural. Anatomia comparada.

## REVISÃO DE LITERATURA

A mineração é uma das atividades produtivas mais antigas da história humana. A extração e beneficiamento de minerais que se encontram em estado natural no meio ambiente possibilitam a geração de uma enorme variedade de produtos que fazem parte da vida moderna e refletem o desenvolvimento da sociedade.

O ciclo de vida da mineração e de outras indústrias extrativas de recursos finitos envolve décadas de atividades. É natural que ao longo destes processos, as expectativas da sociedade com relação ao setor evoluam e passem a exigir mais transparência e desempenho socioambiental (ABAL, 2017).

O Brasil é destaque na exploração de minérios no mercado internacional, apresentando-se como o segundo maior produtor global de minérios de ferro e o terceiro maior exportador de bauxita (IBRAM, 2014), sendo os estados Pará e Minas Gerais responsáveis por 75% das extrações.

As mineradoras no Brasil seguem regulamentações específicas partindo do Código de Mineração (Decreto nº 227/1967), sob responsabilidade do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) do Ministério das Minas e Energia.

A mineração representa um uso temporário da terra e é considerada uma atividade potencialmente poluidora e degradadora. O Artigo 176 da Constituição Federal de 1988 estabelece quais recursos minerais pertencem à União, determinando no parágrafo 2º do artigo 225 que “aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”. Logo as empresas mineradoras têm o compromisso de recuperar ou reabilitar as áreas mineradas (Decreto nº 97.632/1989) não só para atender as exigências expressas nos licenciamentos, mas como um compromisso com o futuro uso da terra.

A atividade minerária inicia com a supressão da vegetação (Instrução Normativa SEMAS/PA nº 07/2015) e remoção do solo orgânico e camada de estéreis para que seja lavrado o mineral. Depois do esgotamento da extração mineral, deve ser devolvido à área o solo e os estéreis retirados previamente e aplicados sobre essas técnicas de recuperação a fim de favorecer a revegetação e recomposição da área.

O estado do Pará, buscando plena fiscalização das atividades, elaborou leis estaduais para o setor; entre elas a Lei nº 5.793/1994 que define a política minerária e hídrica no estado e a Lei nº 7.591/2011 que determina a criação de uma exação tributária denominada Taxa de

Controle, Acompanhamento e Fiscalização das Atividades de Pesquisa, Lavra, Exploração e Aproveitamento de Recursos Minerários – TFRM.

No entanto, um dos grandes entraves para as mineradoras que não havia sido contemplado pelas leis era a grande quantidade de material vegetal oriundo da supressão, principalmente toras de espécies tropicais de valor comercial sem indicação de uso e destino por determinação da União; fazendo com que as madeiras fossem alocadas em pátios de estocagem por período indeterminado.

Percebendo a necessidade de se definir um destino adequado ao recurso natural, o Pará criou a Lei nº 6.958/2007 que determina o destino das madeiras extraídas de áreas licenciadas à exploração de jazidas, minas ou outros depósitos minerais dentro do território paraense. Essa lei deixa clara a limitação de destino de madeira, sendo possível apenas três usos através de doação: *construção de casas populares* para famílias carentes, com renda inferior a dois salários mínimos vigentes no País e que não possuem propriedade rural ou urbana, bem como, as famílias vitimadas das enchentes dos rios e demais fenômenos nocivos da natureza (nova redação dada pela Lei nº 7.376/2010); *escolas* devidamente legalizadas que desenvolvam trabalhos voltados à educação, à proteção e à assistência das crianças, dos adolescentes e dos idosos; e *construção de clínicas para tratamento de dependentes químicos* no estado.

Apesar da implementação da lei, a mesma não foi eficiente e suficiente para diminuir o volume de madeira em tora armazenada nos pátios de estocagem nas mineradoras pela recorrente incapacidade de processamento da madeira bruta por parte dos envolvidos, o que acarreta a desmobilização para esse fim e conseqüentemente impede o aproveitamento dos recursos naturais já estocados. O transporte de toras de grande diâmetro é oneroso e difícil para a mineradora, assim como o desdobro não pode ser realizado dentro da própria empresa por não contar com autorização para abertura de serraria. Adicionalmente, o receptor não conta com ajuda governamental para se estruturar e promover o beneficiamento das toras. No âmbito federal, a questão central ainda é a dominialidade, coexistindo posições divergentes dentro dos órgãos ambientais em relação ao domínio e responsabilidade sobre a madeira, sobretudo quando os empreendimentos se instalam em terras públicas (GVces/IFC, 2016).

Devido à dificuldade de restrição de uso e destino da madeira, foi elaborada uma proposta para ampliar as possibilidades de interpretação da lei até então vigente, sendo acrescida a permissão para comercialização do material extraído da supressão por meio de cooperativas, empresas ou entidades sem fins lucrativos tendo em vista o potencial impacto na

cadeia de produtos e serviços florestais (nova redação dada pela Lei nº 8.515/2017). Atualmente ainda se discute pouco sobre essa possibilidade aberta pela alteração da lei levando muitos ao desconhecimento.

O uso de material vegetal da supressão inevitavelmente exige arranjos institucionais e parcerias, assim como, investimentos públicos e privados que possam estruturar o processamento e transporte, dentre outras operações necessárias à disponibilização ou comercialização desses bens (GVces/IFC, 2016). Nesse sentido, é necessário garantir que se realize boa execução dos programas de supressão, além da inclusão do destino do material vegetal como prioridade e obrigatoriedade à mitigação dos impactos gerados pelo tempo de armazenamento de toras em pátios de estocagem.

Quando as madeiras não são usadas conforme estabelecido pelas leis, são alocadas em pátios de estocagem por longos períodos dentro da área da mineradora. Os pátios de estocagem são áreas na margem de estradas secundárias destinadas ao armazenamento das toras advindas da supressão vegetal; como permanecem em condição a céu aberto acaba gerando consequências desfavoráveis como ocupação de área sem uso e exposição excessiva e contínua das toras de madeira ao processo de degradação.

Ações focadas na destinação de toras resultantes da supressão vegetal em áreas de mineração são de extrema relevância e devem ser planejados a fim de reduzir o volume nos pátios de estocagem, a partir de uma destinação baseada na qualidade da madeira por espécie e em diagnóstico de mercado local e/ou regional.

A degradação da madeira tende a ser evidenciada pela cronossequência de exposição, ou seja, quanto maior o gradiente temporal de exposição mais os efeitos degradativos são visíveis na madeira. A madeira pode passar por degradação térmica, biológica, química, física e mecânica, acontecendo simultaneamente quando exposta ao intemperismo (AMMALA, 2011; OBERHOFNEROVÁ; PÁNEK, 2016).

O intemperismo, ação conjunta de exposição a fatores bióticos (microrganismos xilófagos) e abióticos (radiação solar, temperatura, umidade, precipitação, atrito mecânico), é um processo de mudanças irreversíveis na aparência e nas propriedades de um material com impacto em longo prazo (COLOM et al., 2003; TELES; COSTA, 2014) sendo capaz de definir a degradação de materiais diante do tempo (WILLIAMS, 2005).

Os diferentes tipos de degradação podem ser analisados em relação à severidade da degradação: superficial ou estrutural; aos mecanismos das reações de degradação: com e sem

a cisão da cadeia principal dos polímeros; e de acordo com a atuação dos fatores degradadores na forma de alteração do grau de resistência natural da madeira (AZWA et al., 2013).

Apesar das características de degradabilidade, a madeira é classificadas pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) como resíduo classe II-A, não apresentando risco ou periculosidade para o ambiente e com potencial de aproveitamento para diferentes produtos a partir do momento que se conhece a durabilidade natural e estabilidade dimensional do material.

Existem três possibilidades de exposição das madeiras para avaliar a durabilidade, a resistência e o comportamento degradativo diante dos efeitos do intemperismo apenas acompanhando as mudanças ocorridas em um determinado intervalo temporal: 1- intemperismo natural em campo, que consiste na exposição de madeiras diretamente ao ar livre; 2- intemperismo artificial acelerado em laboratório, no qual amostras de madeira são submetidas a uma câmara de ensaio de envelhecimento artificial capaz de simular condições ambientais por ciclos consecutivos e possibilitando o isolamento de fatores de degradação; 3- campos de apodrecimento, onde se enterra estacas de madeira no solo (DEFLORIAN et al., 2007; FIGUEIREDO, 2011).

Os ensaios de campo reproduzem o real comportamento de degradação da madeira com ou sem tratamento químico, mesmo quando expostas a períodos irregulares de fatores intempéricos, uma vez que não existe possibilidade de controle. Lunz (2001), ao comparar os estágios de durabilidade de madeiras em ensaios de campo e de laboratório, observou que os ensaios de campo submetem a madeira a riscos de deterioração e desgaste não contemplados nos ensaios realizados em laboratório, devido ao controle que se tem no último, logo os dados de campo tendem a explicar melhor a cronossequência de degradação das madeiras, apesar de simultaneamente ter como desvantagem a necessidade de longo período para observar os efeitos do intemperismo, principalmente quando se tem toras de grande dimensão. Westin et al. (2002) e Yildiz et al. (2013) afirmaram que mudanças substanciais geralmente aparecem em termos reais após muitos anos de exposição da madeira, devido à lentidão e questionável repetitividade do processo de intemperismo natural e o fato da madeira ser um material naturalmente resistente e duradouro.

A escolha pelo melhor método deve levar em consideração as variáveis dimensionais da madeira (massa, espessura, aspecto geral, entre outros), local de exposição, disposição das amostras, além da viabilidade do ensaio (MILLER et al., 2003).

O processo de degradação afeta desfavoravelmente a estrutura anatômica, as propriedades e a qualidade do xilema secundário devido à interação nociva entre a anatomia da madeira e condições de armazenamento (MARCHIORI, 2004).

As características intrínsecas da madeira contribuem com a velocidade de degradação causada pelo intemperismo, tais como: classe à qual pertence (folhosa ou conífera) (YILDIZ et al., 2013), distribuição de cerne e alborno, teor de extrativos totais, teor de lignina (PANDAY, 2005), densidade básica e anatomia da madeira (MARQUES et al., 2012).

Vários trabalhos (CRUZ, 2001; LIMA, 2005; NOVAES et al., 2010; BRAND et al., 2011; OBERHOFNEROVÁ; PÁNEK, 2016; ZANUNCIO et al., 2016) demonstraram alterações das madeiras mediante deterioração, tais como: alterações na composição química, redução da resistência mecânica, diminuição de massa, modificação da cor natural, aumento da permeabilidade, redução da capacidade acústica, aumento da inflamabilidade, diminuição da umidade do material, diminuição do poder calorífico, lixiviação dos extrativos da madeira e maior propensão ao ataque de insetos e fungos; inviabilizando a utilização da madeira para fins tecnológicos. No entanto, poucos trabalhos evidenciam a deterioração da madeira a nível anatômico. Kotina et al. (2013) é um dos poucos trabalhos que demonstra que as variações do ambiente em que a madeira é exposta refletem em diferenças estruturais, especialmente, quanto à percentagem de tecidos, dimensão dos elementos celulares e estrutura da periderme.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. Bauxita no Brasil: Mineração responsável e competitividade. Gráfica Mundo. São Paulo. 66 p. 2017.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004 – Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro. 2004.
- AMMALA, Anne et al. An overview of degradable and biodegradable polyolefins. *Progress in Polymer Science*. v. 36, p. 1015-1049, 2011.
- AZWA, N.Z.; YOUSIF, B.F.; MANALO, A.C.; KARUNASENA, W. A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. *Materials and Design*. v. 47, p. 424-442, 2013.
- BRAND, M.A.; MUÑIZ, G.I.B.; QUIRINO, W.F.; BRITO, J.O. Storage as a tool to improve wood fuel quality. *Biomass and Bioenergy*. v. 35 (7), p. 2581-2588, 2011.
- COLOM, X.; CARRILLO, F.; NOGUES, F.; GARRIGA, P. Structural analysis of photodegraded wood by means of FTIR spectroscopy. *Polymer Degradation and Stability*. v. 80, n.3, p. 543-549, 2003.
- CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988. Disponível: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicaocompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm)>. Acesso: 04/2018.
- CRUZ, H. Patologia, avaliação e conservação de estruturas de madeira. In: II CURSO LIVRE INTERNACIONAL DE PATRIMÔNIO. Associação Portuguesa dos Municípios com Centro Histórico. Fórum UNESCO, Santarém – Portugal. 2001.
- DECRETO nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Disponível: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/d97632.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d97632.htm)>. Acesso: 02/2018.
- DECRETO nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Disponível: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/Del0227.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del0227.htm)>. Acesso: 01/2018.
- DEFLORIAN, F.; ROSSI, S.; FEDRIZZI, L.; ZANELLA, C. Comparison of organic coating accelerated tests and natural weathering considering meteorological data. *Prog. Org. Coating*. v. 59, p. 244–250, 2007.
- FIGUEIREDO, R.C. Modernização de uma câmara calorimétrica para execução de testes climáticos de envelhecimento acelerado. Brasília: Universidade de Brasília. 2011.
- GVces/IFC. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas / International Finance Corporation. Grandes Obras na Amazônia: Aprendizados e Diretrizes. 23 p. 2016.
- IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. A indústria da mineração para o desenvolvimento do Brasil e a promoção da qualidade de vida do brasileiro. 73 p. 2014.
- INSTRUÇÃO NORMATIVA SEMAS/ PARÁ nº 07 de 05 de outubro de 2015. Disponível: <<https://www.semas.pa.gov.br/2015/10/07>>. Acesso: 02/2018.
- KOTINA, E. L. et al. Notes on the taxonomic and ecological significance of bark structure in the genus *Virgilia* (Fabaceae, Podalyriaceae). *South African Journal of Botany*. v. 89, p. 240-243, 2013.
- LEI nº 5.793/ 1994. Disponível: <<https://www.semas.pa.gov.br/1994/01/04/9736/>>. Acesso: 03/2018.
- LEI nº 7.376/ 2010. Disponível: <<https://www.semas.pa.gov.br/2010/01/08/9781/>>. Acesso: 02/2018.
- LEI nº 8.515/ 2017. Disponível: <<https://www.semas.pa.gov.br/2017/01/07/9752/>>. Acesso: 02/2018.
- LEI nº 6958 / 2007. Disponível: <<https://www.mppa.mp.br>>. Acesso: 06/2018.
- LEI nº 7.591/ 2011. Disponível: <<http://www.legisweb.com.br/legislacao>>. Acesso: 03/2018.

- LIMA, R.A.F. Estrutura e regeneração de clareiras em Florestas Pluviais Tropicais. **Revista Brasil. Bot.** v. 28, n. 4, p. 651-670, 2005.
- LUNZ, A.M. Degradação da madeira de seis essências arbóreas causadas por Scolytidae (Coleóptera). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica. 160p. 2001.
- MARCHIORI, J. N. C. **Elementos de dendrologia**. Santa Maria: Ed. UFSM. 2. ed. 176p. 2004.
- MARQUES, P.A.; CALLADO, K.L.; BARROS, C.F.; COSTA, C.G. Variação intraespecífica do lenho de *Eugenia uniflora* L. em duas diferentes fisionomias do complexo vegetacional Atlântico. **Floresta e Ambiente**. v. 19, n. 4, p. 483-496, 2012.
- MILLER, R.B.; WIEDENHOEFT, A.C.; WILLIAMS, R.S.; STOCKMAN, W.; ILL, F.G. Characteristics of ten tropical hardwoods from certified forest in Bolivia. Part II. Natural durability to decay fungi. **Wood and Fiber Science**. v. 35, p. 429-433, 2003.
- NOVAES, F.S.; CALLADO, C.H.; PEREIRA-MOURA, M.V.L.; LIMA, H.R.P. Wood anatomy of *Mollinedia glabra* (Spreng.) Perkins (Monimiaceae) in two restinga vegetation formations at Rio das Ostras, RJ, Brazil. *Anais Acadêmico Brasileiro de Ciência*. v. 82, p. 915-924, 2010.
- OBBERHOFNEROVÁ, E.; PÁNEK, M. Surface wetting of selected wood species by water during initial stages of weathering. **Wood Research**. v. 61, n. 4, p. 545-552, 2016.
- PANDEY, K. K. A note on the influence of extractives on the photo-discoloration and photo-degradation of wood. **Polym. Degrad. Stab.** v. 87, p. 375- 385, 2005.
- TELES R. F; COSTA A. F. Influência do intemperismo acelerado nas propriedades colorimétricas da madeira de angelim pedra. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**. v. 2, n. 2, p. 65-70, 2014.
- WESTIN, M.; RAPP, A.O.; HADI, Y.S.; NILSSON, T. The International Research Group on Wood Protection. Paper Prepared for the 33rd Annual Meeting. 2002.
- WILLIAMS, R. S. Weathering of wood. Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton: CRC Press. p. 139-185. 2005.
- YILDIZ, S.; TOMAK, E. D.; YILDIZ, U. C.; USTAOMER, D. Effect of artificial weathering on the properties of heat treated wood. **Polymer Degradation and Stability**. v. 98, p.1419-1427, 2013.
- ZANUNCIO, A. J. V. et al. Relationship between the anatomy and drying in *Eucalyptus grandis*×*Eucalyptus urophylla* wood. **Revista Árvore**. v. 40, n. 4, p. 723-729, 2016.

# **CRONOSSEQUÊNCIA DE DETERIORAÇÃO NA ANATOMIA DE MADEIRAS TROPICAIS ESTOCADAS EM ÁREA DE MINERAÇÃO**

## **1. INTRODUÇÃO**

Dentro das atividades da mineração, um dos grandes problemas é o material vegetal oriundo da supressão. Toda madeira retirada acaba sendo armazenada por longos períodos em pátios de estocagem nas áreas das mineradoras por limitação de uso e destino estabelecida por lei.

O armazenamento e permanência de madeiras em pátios de estocagem a céu aberto as deixam sujeita ao processo de intemperismo natural; causando dificuldade de identificação das espécies pelas modificações nas propriedades organolépticas e degeneração anatômica estrutural das madeiras em relação ao tempo de estocagem gerando maior suscetibilidade à deterioração acelerada das mesmas.

É comum trabalhos abordarem a degradação de madeiras tropicais diante do processo de intemperismo natural; mas poucos explicam o efeito desse processo a nível anatômico diante do monitoramento em um gradiente temporal em anos de exposição; e nenhum relacionou a degradação com a posição que as toras podem ser organizadas nas pilhas de madeira no momento de estocagem.

Assim, o presente trabalho está embasado na seguinte questão norteadora: De que maneira o tempo de estocagem afeta a estrutura anatômica da madeira sob processo de intemperismo natural?

## **2. OBJETIVO GERAL**

Avaliar qualitativamente e quantitativamente o efeito do intemperismo natural na degradação estrutural anatômica de duas espécies tropicais diante do tempo de estocagem e posição das toras nas pilhas de madeira em função das variáveis:

- 1- Aspecto geral das toras
- 2- Estrutura anatômica do xilema secundário
- 3- Densidade básica
- 4- Teor de extrativos totais

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudo

A pesquisa foi realizada em pátios de estocagem de madeiras na área da Mineração Paragominas S.A., empresa do grupo Hydro, localizada no município de Paragominas, nordeste do estado do Pará. As madeiras estocadas eram provenientes da supressão da vegetação do platô Miltônia III, retirada para a realização de lavragem de bauxita (Fig.1).

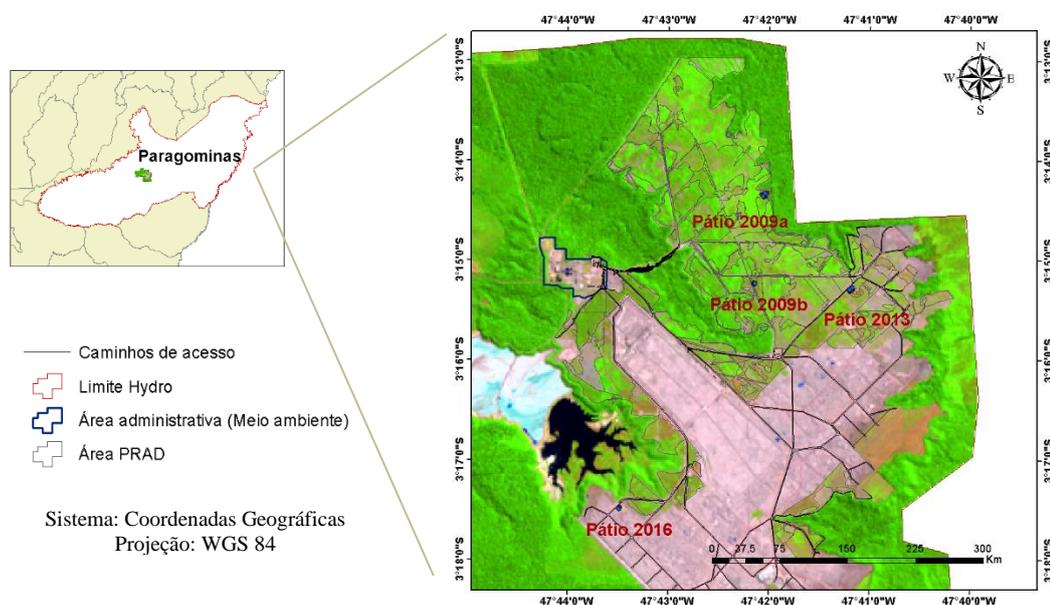


Figura 1. Mapa de localização dos pátios de estocagem onde foram realizadas as coletas do material na área da Mineração Paragominas S.A, Paragominas, Pará.

#### 3.2. Caracterização da área

Segundo a classificação de Köppen (1928), o clima predominante na região é do tipo Aw - tropical chuvoso com estação seca bem definida, caracterizado por temperatura média anual de 27, 2 °C, umidade relativa do ar de 81% e precipitação pluviométrica com média de 1766 mm/ano, com ocorrência de menor disponibilidade hídrica no período de julho a outubro. A grande maioria (95%) do solo de Paragominas é do tipo latossolo amarelo distrófico, com alto grau de intemperismo, profundos, ácidos e ricos em alumínio (PINTO, 2009).

### 3.3. Caracterização dos pátios

Os pátios de estocagem de madeira apresentaram solos visivelmente compactados e com regeneração da vegetação natural escassa ou ausente. Nos pátios com nove anos de estocagem (2009) já era possível observar o início de regeneração natural, com presença de espécies pioneiras e/ou invasoras nas margens das pilhas devido à retenção de umidade ao redor das mesmas favorecendo a germinação das plantas. No pátio com cinco anos (2013) o comportamento permanecia, porém com plantas de altura inferior aquelas observadas no pátio de 2009. No pátio com dois anos (2016) não foi possível observar nenhum indício de regeneração (Fig. 2).

Campos (2002) desenvolveu um sistema de classificação de risco de deterioração para madeiras brasileiras que vai de 1 a 6; no qual se tem: classe 1 com madeiras isoladas do solo e protegidas contra todos os riscos de reumidificação, classe 2 com madeiras sob abrigo mas em contato permanente com fonte de umidade, classe 3 com madeiras isoladas do solo mas exposta às intempéries, classe 4 com madeiras em contato com o solo e sob intempéries, classe 5 com madeiras imersas em água doce e classe 6 com madeiras imersas em água salgada ou salobra. Sendo ambas as espécies desse estudo caracterizadas como madeiras de risco 4.

### 3.4. Delineamento experimental

Foram avaliadas duas espécies de maior frequência nos pátios: *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach (Maçaranduba - Sapotaceae) e *Tachigali glauca* Tul. (Tachi - Fabaceae).

A identificação foi realizada na xiloteca da Embrapa Amazônia Oriental. O método adotado para o procedimento de identificação foi por comparação com amostras do acervo da instituição fazendo-se uso de uma lupa conta fio com aumento de 10 vezes para uma melhor observação dos tecidos lenhosos das espécies.

Cada espécie foi coletada em três períodos de estocagem [nove anos (2009), cinco anos (2013) e dois anos (2016)] para três possibilidades de posição das toras nas pilhas de madeira [topo (T), centro (C) e próximas ao solo (S)]. Foram coletadas três repetições para cada condição de ano por posição; totalizando nove amostras de cada espécie por ano, 27 amostras de cada espécie e 54 amostras totais para o experimento (Fig.2).

Para padronização da coleta, as amostras foram retiradas do cerne próximo à medula e do lado de maior diâmetro da tora.

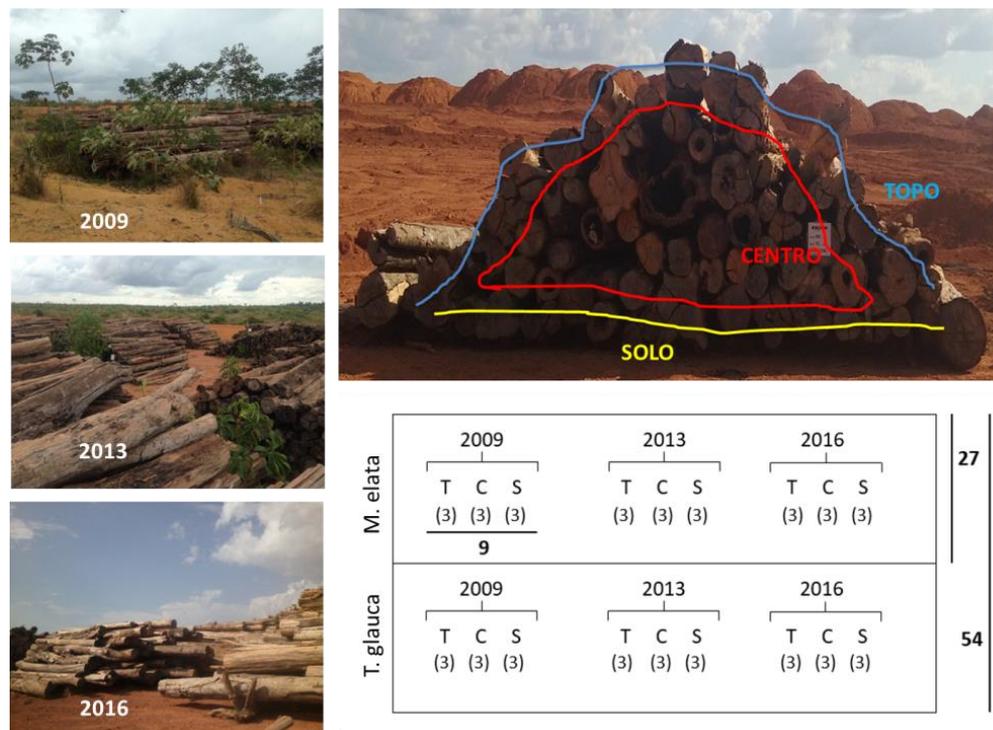


Figura 2. Esquema do delineamento experimental definido para coleta das amostras.

### 3.5. Análises

#### 3.5.1. Caracterização macroscópica e microscópica da madeira

A macroscopia foi efetuada no Laboratório de Botânica da Embrapa Amazônia Oriental em corpos de prova de 2 cm<sup>3</sup> que tiveram suas superfícies aplainadas com o auxílio de um micrótomo de deslize nos três planos de corte da madeira (transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial). A descrição anatômica foi realizada utilizando lupa conta fio com aumento de 10 vezes, seguindo as orientações de Coradin e Muñiz (1992).

A microscopia foi realizada no Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais; se subdividindo em três etapas:

##### 3.5.1.1. Preparo do material macerado

Fragmentos longitudinais de madeira foram armazenados em frascos com tampa contendo solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio (1:1 v/v) e levados à estufa de circulação de ar a 60°C por no mínimo 24h, até que as células do xilema estivessem bem individualizadas, ou seja, até ocorrer à desagregação pela dissolução da lamela média que as unia.

O material dissociado foi lavado em água para a remoção total da solução e posteriormente acrescido água destilada e safranina hidroetflica (1%) (1:1 v/v) (FRANKLIN, 1945). Para observação dos elementos celulares, foram confeccionadas lâminas temporárias misturando-se uma pequena quantidade do macerado em gotas de glicerina entre lâmina e lamínula.

#### 3.5.1.2. Obtenção de cortes histológicos

Os corpos de prova utilizados na caracterização macroscópica foram armazenados em bomba de vácuo contendo água destilada para saturação com intuito de amolecer o material e facilitar o corte.

Em seguida, foram obtidos cortes histológicos nos três planos de corte com o auxílio do micrótomo de deslize, com espessura variando de 16 a 20  $\mu\text{m}$ . Havendo necessidade de maior amolecimento das amostras de *M. elata*, fez-se necessário o cozimento em água e glicerina (5:1 v/v) por três horas. Os cortes foram clarificados com solução de hipoclorito de sódio (NaClO), submetidos à limpeza com álcool 20%, corados com safrablau [dupla coloração com azul de astra e safranina hidroetflica (1%) (1:1 v/v)] e desidratados em série alcoólica: álcool 50%; álcool 70%; álcool 80%; álcool 100%; álcool-acetato de butila (3:1 v/v); álcool-acetato de butila (1:1 v/v); álcool-acetato de butila (1:3 v/v) e acetato de butila puro (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>2</sub>). Os cortes ficaram submersos por 5 min em cada um dos solventes. Em seguida, os cortes foram montados entre lâmina e lamínula com Entellan® (JOHANSEN, 1940). Foram preparadas três lâminas histológicas permanentes com os três planos de corte para cada amostra do experimento.

#### 3.5.1.3. Mensuração dos elementos anatômicos

A caracterização e quantificação anatômica seguiram as orientações da *International Association of Wood Anatomists* - IAWA Committee (1989). Foi utilizado um microscópio óptico modelo Olympus BX41TF acoplado com câmera digital de ocular micrométrica. Por meio do programa WinCELL-PRO de concepção canadense, foi realizada a descrição e medições anatômicas sendo as imagens obtidas pelo próprio *software* e formatadas no programa AxioVision versão 4.8. Foram realizadas 30 mensurações para cada parâmetro analisado por amostra.

### 3.5.2. Densidade básica

Determinada de acordo com a norma NBR 11.941 (ABNT, 2003) pelo método de imersão da balança hidrostática baseado no princípio de Arquimedes de empuxo. As amostras foram armazenadas em dessecador com água e realizada a aplicação de vácuo até saturação.

Quando saturada, cada amostra foi imersa em becker com água por meio de um suporte, evitando o contato da madeira com o recipiente, sob uma balança de precisão de 0,01g para obtenção do volume saturado ( $v_{sat}$ ) em  $cm^3$ . As amostras seguiram para estufa de circulação de ar a temperatura de 105°C para eliminação da umidade até a obtenção de massa constante (considerada quando, no intervalo de 24h, a alteração da massa for inferior a 0,05%), sendo posteriormente pesadas para aquisição da massa seca ( $m_s$ ) em g. A densidade básica ( $db$ ) foi determinada pela fórmula: ( $db = m_s / v_{sat}$ ).

### 3.5.3. Teor de extrativos totais

As amostras de madeira foram moídas em moinho de facas tipo willey e peneiradas em conjunto de peneiras de 40 e 60 mesh, sendo utilizado o material retido na peneira de 60 mesh.

A extração foi conduzida de acordo com a norma da Tappi T 264 cm-97 (1997), em extrator de Soxhlet acoplado a um condensador tipo serpentina e uma fonte de aquecimento. No extrator, previamente seco, adicionou-se um cadinho filtrante tipo gooch de massa conhecida, contendo cerca de 2 g da serragem das amostras, que sucessivamente foram submetidas à extração por três solventes: diclorometano, álcool/tolueno (1:2 v/v) e etanol, durante 6h, 8h e 8h, respectivamente. Adicionaram-se os reagentes em quantidade suficiente para sifonar uma vez e mais a metade da capacidade do extrator. O solvente foi direcionado para um balão coletor sob pressão reduzida em evaporador rotatório e os resíduos que permaneceram no cadinho foram submetidos à secagem em estufa a 105°C por três horas e pesados para a determinação do teor de extrativos. Os extratáveis solubilizados por cada solvente foram determinados utilizando a diferença da massa inicial pela massa residual pós-extração. O rendimento em extrativos totais consiste na somatória do rendimento obtido de todos os solventes relatados como uma porcentagem da amostra que lhe deu origem. A análise foi realizada em triplicata.

### 3.6. Análise estatística

Foi realizada a comparação de médias por análise de variância (ANOVA) para dois fatores (ano e posição) e teste HSD de Tukey (1949) ao nível de 5% de probabilidade de erro. Foi aplicado o teste de Shapiro e Wilk (1965) para avaliar a normalidade dos dados e possível presença de *outliers*, e quando necessário foi aplicada a metodologia de transformação de Box e Cox (1964) para normalizar a distribuição dos resíduos das amostras. As análises foram realizadas no programa estatístico R.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Aspecto geral das toras

As madeiras, tanto de *M. elata* como *T. glauca*, passaram por degradação devido à exposição a fatores intempéricos. De maneira geral, as toras no topo da pilha apresentavam superfície mais rugosa e seca pela incidência de radiação solar direta, enquanto as toras mais próximas do solo apresentavam-se mais úmidas perceptíveis ao tato. As madeiras no centro da pilha acabavam sendo protegidas pelas que estavam ao redor.

A exposição prolongada fez com que as toras apresentassem variação da cor natural dificultando a identificação das espécies em pátio. Nas fases iniciais do processo de intemperismo, as madeiras escuras como *M. elata* têm uma tendência a se tornarem mais claras e as madeiras claras como *T. glauca* ficam mais escuras, sendo que no final do processo, todas as madeiras tornam-se acinzentadas devido à oxidação dos extrativos (AYADY et al., 2003).

Toras de *M. elata* apresentavam comum indefinição do limite transitório de cerne e alburno nas madeiras de estocagem mais recentes (Fig. 3A); separação do alburno em relação ao cerne (Fig. 3B); fissuras profundas que tendem a abrir na forma de x de maneira longitudinal ao longo da tora com trincas complementares paralelas à grã (Fig. 3C), degradação do alburno pouco visível (Fig. 3D); cascas desprendendo-se ou na maioria ausentes (Fig. 3E); presença de agentes xilófagos biodegradadores de forma expressiva, principalmente nas toras próximas ao solo (Fig. 3H) e presença de alburno deslocado e excentricidade da medula (Fig. 3I).

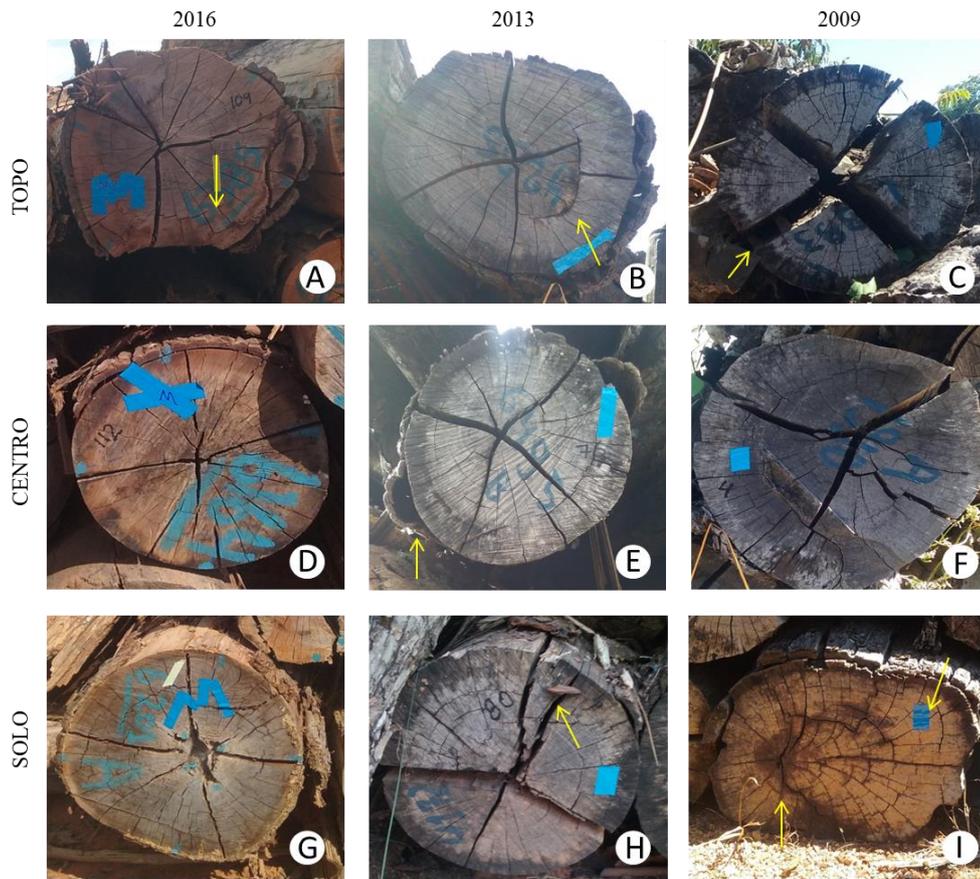


Figura 3. Aspecto geral do topo das toras de *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach alocadas nos pátios de estocagem na área da Mineração Paragominas S.A. de acordo com o ano de estocagem e posição nas pilhas de madeira.

Para a *T. glauca* os efeitos do intemperismo são bem mais evidentes frente à velocidade de deterioração com o aumento do tempo de estocagem. A espécie apresentou numerosas fissuras finas formando trapézios (Fig. 4A); formação de irregularidades e propagação de vazios no eixo longitudinal das toras (Fig. 4B); aspereza superficial e alburno degradado (Fig. 4C); tendência natural de degradabilidade da medula provocando ocos de grande diâmetro, assim como, separação do alburno em relação ao cerne (Fig. 4D); ausência de casca na maioria das amostras independente do ano e posição (Fig. 4E); ataque de biodegradadores, na maioria das vezes, partindo da medula degradada (Fig. 4F) e madeira amolecida e facilmente removível, apresentando visivelmente perda de material (Fig. 4I).

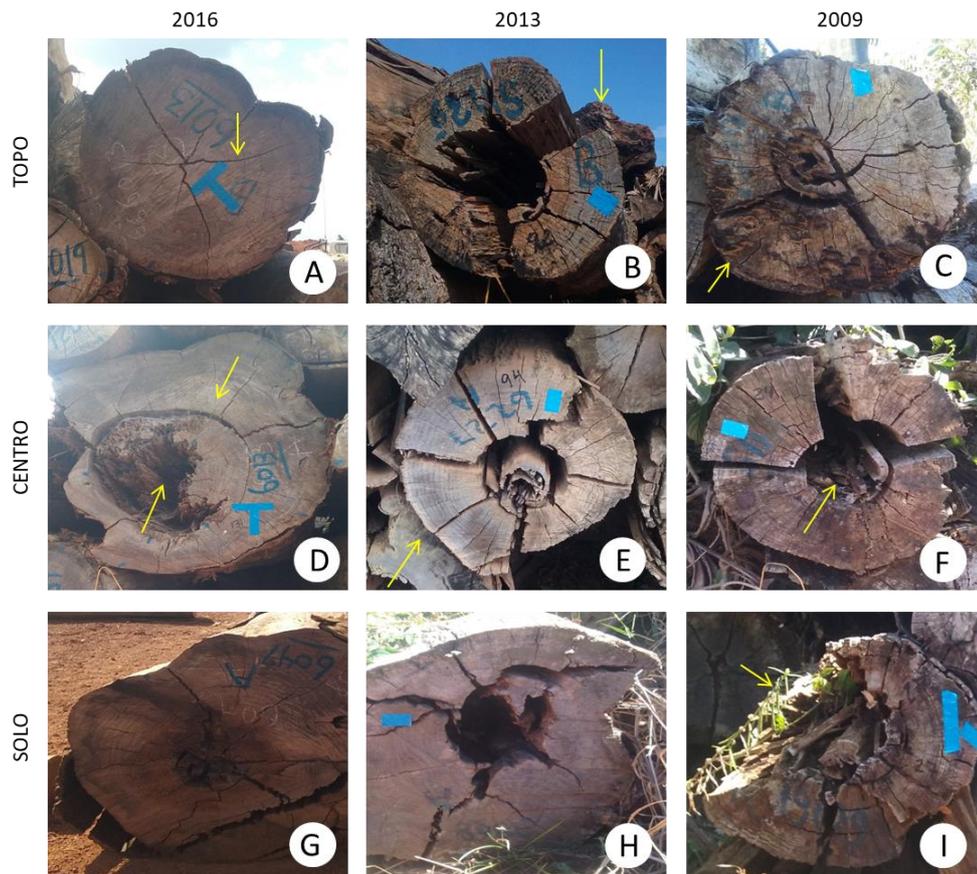


Figura 4. Aspecto geral do topo das toras de *Tachigali glauca* Tul. alocadas nos pátios de estocagem na área da Mineração Paragominas S.A. de acordo com o ano de estocagem e posição nas pilhas de madeira.

Essas degradações estruturais acontecem devido à exposição conjunta a fatores intempéricos como radiação solar e precipitação que gera processos bruscos de secagem superficial e umedecimento na madeira favorecendo o surgimento de tensões, que quando superiores a resistência dos tecidos lenhosos geram fissuras devido à separação de tecidos; assim como a indução de soltura das cascas pela secagem da zona cambial (HON, 2001; CREEMERS et al., 2002). Segundo Daniel et al. (2004) e Xie et al. (2005) as fissuras na madeira favorecem o acréscimo de umidade, condição que propícia o ataque e desenvolvimento de organismos xilófagos, em especial os fungos apodrecedores que reduzem a durabilidade da madeira.

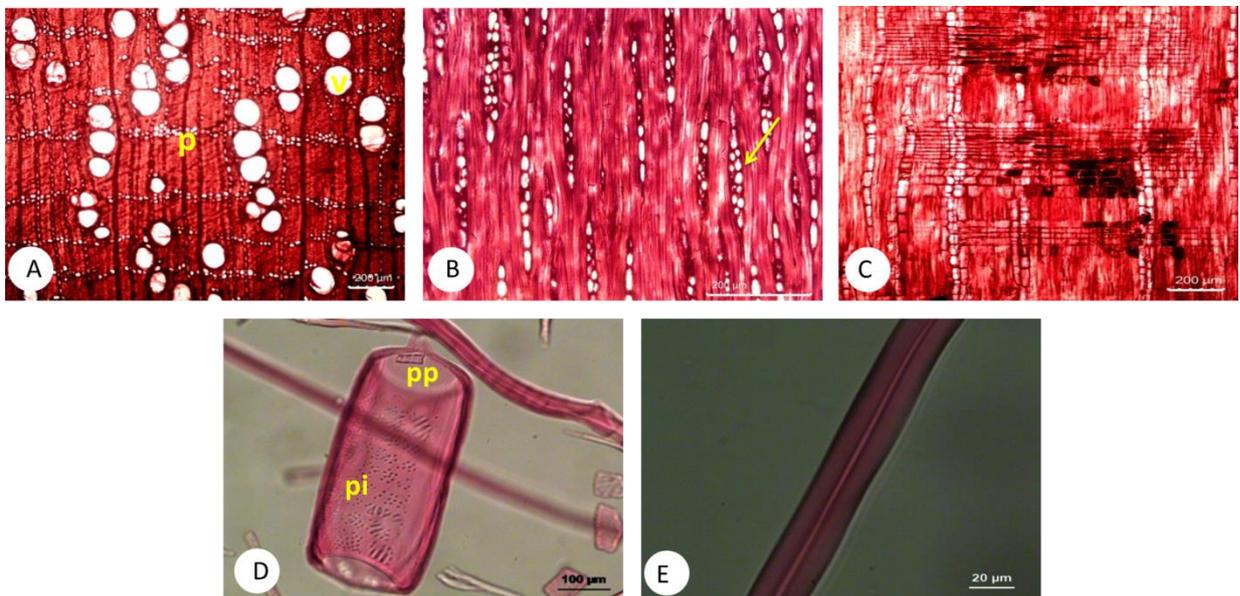
Para Ducatti et al. (2001), a separação do albarno em relação ao cerne é comum em madeiras sob clima tropical e ocorre em função de diferentes taxas de secagem dentro da madeira, tendendo o albarno a secar de maneira mais rápida, podendo gerar aspereza superficial ou perda de material.

Gatto (2002) sugere que a árvore ainda viva apresenta deslocamento de alborno devido à ausência de séries de vasos em determinadas regiões do lenho, fazendo com que a região cresça menos que as adjacentes; assim como, associa a excentricidade da medula no eixo transversal da tora à força do vento ou forte insolação lateral na madeira antes da supressão, o que possivelmente fez com que as toras de *M. elata* apresentassem essas características.

#### 4.2. Estrutura anatômica do xilema secundário

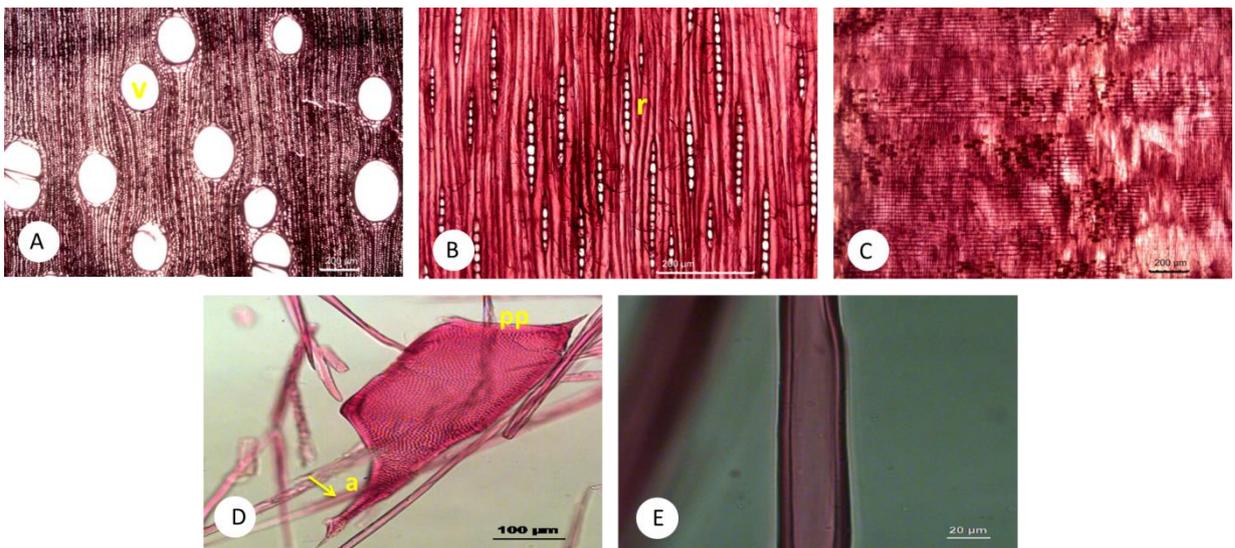
*M. elata* evidenciou *camadas de crescimento* pouco distintas, individualizadas por zonas fibrosas transversais mais escuras. *Parênquima axial* apotraqueal difuso em agregado não associado aos vasos; visível apenas sob lente no plano transversal; em linhas numerosas, às vezes interrompidas (Fig. 5A). *Raios* visíveis apenas sob lente; poucos a numerosos; maioritariamente unisseriados, algumas vezes fusionados com duas séries de células por tratar-se de madeira juvenil em transição (Fig. 5B); não estratificados, dispendo-se de modo irregular (Fig. 5C). *Vasos* visíveis apenas sob lente no plano transversal; pequenos a médios; numerosos; porosidade difusa tendendo ao arranjo radial, possuindo os mesmos diâmetros e distribuídos de maneira uniforme em toda a superfície; raramente obstruídos; placas de perfuração simples; pontuações intervasculares simples (Fig. 5D). *Fibras* libriformes longas, com espessura de parede larga e lúmen estreito; não septada, sem subdivisões aparentes (Fig. 5E).

Figura 5. Fotomicrografias dos cortes histológicos e macerado da *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach. **A** plano transversal com (p) parênquima e (v) vaso; **B** plano longitudinal tangencial com destaque para raios fusionados; **C** plano longitudinal radial com raios não estratificados; **D** vaso com (pp) placa de perfuração e (pi) pontuações intervasculares; **E** fibra. Aumento total de fotomicrografias 40x.



A *T. glauca* evidenciou *camadas de crescimento* distintas e demarcadas por zonas fibrosas transversais escuras, sinuosas, irregularmente espaçadas, sendo verificada que quanto mais antiga a madeira mais as camadas de crescimento eram evidentes. *Parênquima axial* ao redor dos vasos do tipo paratraqueal vasicêntrico; visível apenas sob lente (Fig. 6A). *Raios* visíveis apenas sob lente; numerosos; exclusivamente unisseriado (Fig. 6B); não estratificados (Fig. 6C). *Vasos* visíveis a olho nu no plano transversal; porosidade difusa, ocasionalmente em arranjo radial; médios a grandes; poucos; apêndice presente pelo menos em uma das extremidades; placa de perfuração simples (Fig. 6D). *Fibra* libriforme curta, com espessura de parede estreita e lúmen largo; não septada (Fig. 6E).

Figura 6. Fotomicrografias dos cortes histológicos e macerado da *Tachigali glauca* Tul. **A** plano transversal com vasos (v); **B** plano longitudinal tangencial com raios (r); **C** plano longitudinal radial com raios não estratificados; **D** vaso com apêndice (a) e placa de perfuração (pp); **E** fibra. Aumento total de fotomicrografias 40x.



Tanto *M. elata* como *T. glauca* não apresentaram diferenciação morfológica dos elementos anatômicos diante da degradação por intemperismo natural, no entanto, várias deformações microscópicas foram evidenciadas sendo dependentes do tempo de estocagem ou da posição das toras nas pilhas, gerando perda de qualidade e resistência mecânica para ambas as espécies.

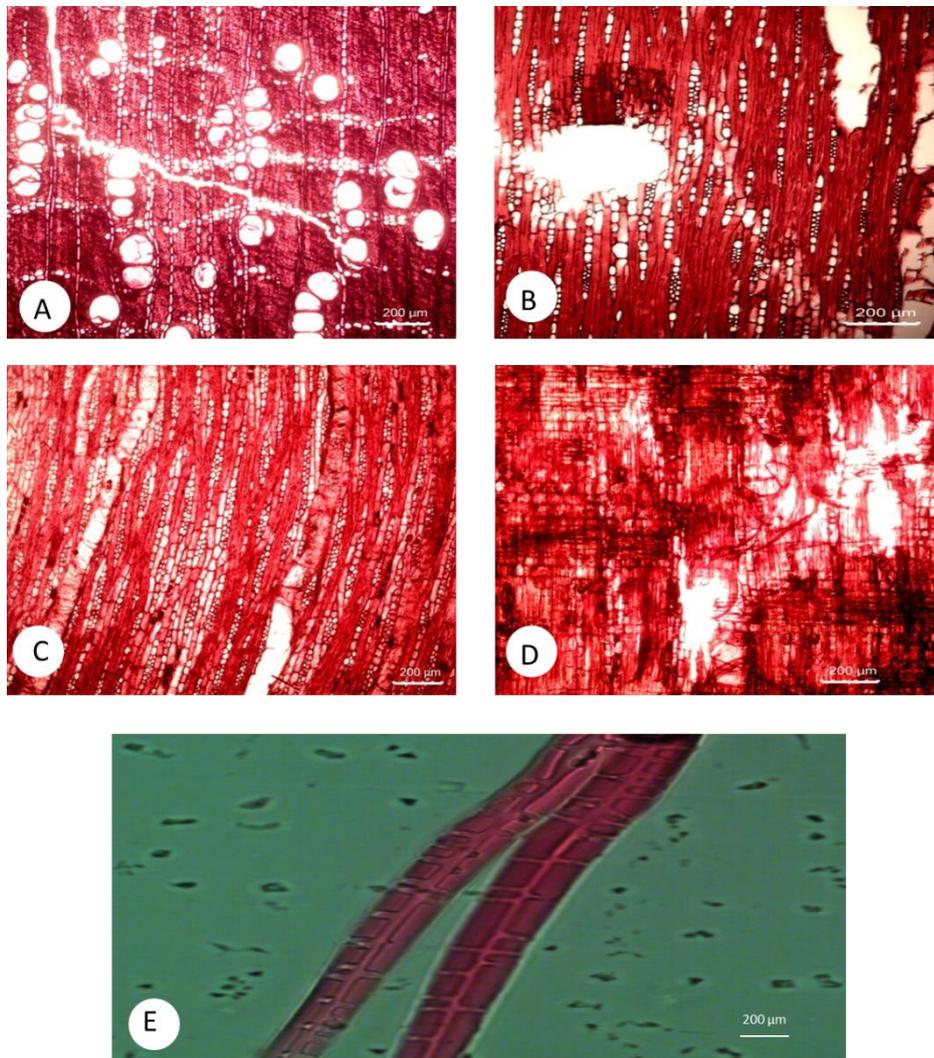
Foi observado que na *M. elata*, as toras de madeiras do pátio de 2009 e 2013, independentemente da posição, apresentaram ausência de arranjo dos vasos e fissuras finas e superficiais no plano transversal de corte (Fig. 7A), podendo indicar que o tempo de estocagem fragilizou a estrutura da madeira a ponto de rachar entre células devido à pressão da secagem natural durante exposição (FAN et al., 2009).

No plano longitudinal tangencial as toras do pátio 2009 na posição centro e solo e pátio 2013 na posição topo e solo, apresentaram perfurações ovaladas bem definidas e profundas devido ao ataque de agentes biodegradadores que buscam alimento na forma de amido e açúcares no parênquima axial e radial (Fig. 7B). Além disso, fibras de *M. elata* já fragilizadas com a redução de lignina ao longo do tempo de exposição (ISHIGURI et al., 2009), demonstraram curvamento das fibras em relação ao eixo linear para quase todas as toras do pátio 2009 e 2013 na posição solo (Fig. 7C). Esse curvamento ocorreu possivelmente devido ao peso excessivo de outras espécies armazenadas sobre as toras de *M. elata* nas pilhas.

No plano longitudinal radial, nas toras do pátio 2009 na posição centro e solo, pátio 2013 na posição topo, e pátio 2016 na posição solo; eram visíveis fissuras dispostas aleatoriamente e esmagamento dos raios, ações facilitadas pela diminuição do percentual de parênquima axial na constituição anatômica com o avanço da degradação (Fig. 6D).

As fissuras também eram visíveis na parede celular em várias fibras, deixando-a muito mais flexível e fragilizada (Fig. 6E).

Figura 6. Aspecto microscópico das deformações ocorridas nos cortes histológicos da *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach. **A** plano transversal; **B** e **C** plano longitudinal tangencial; **D** plano longitudinal radial; **E** consumo da parede celular da fibra. Aumento total de fotomicrografias de 40x.



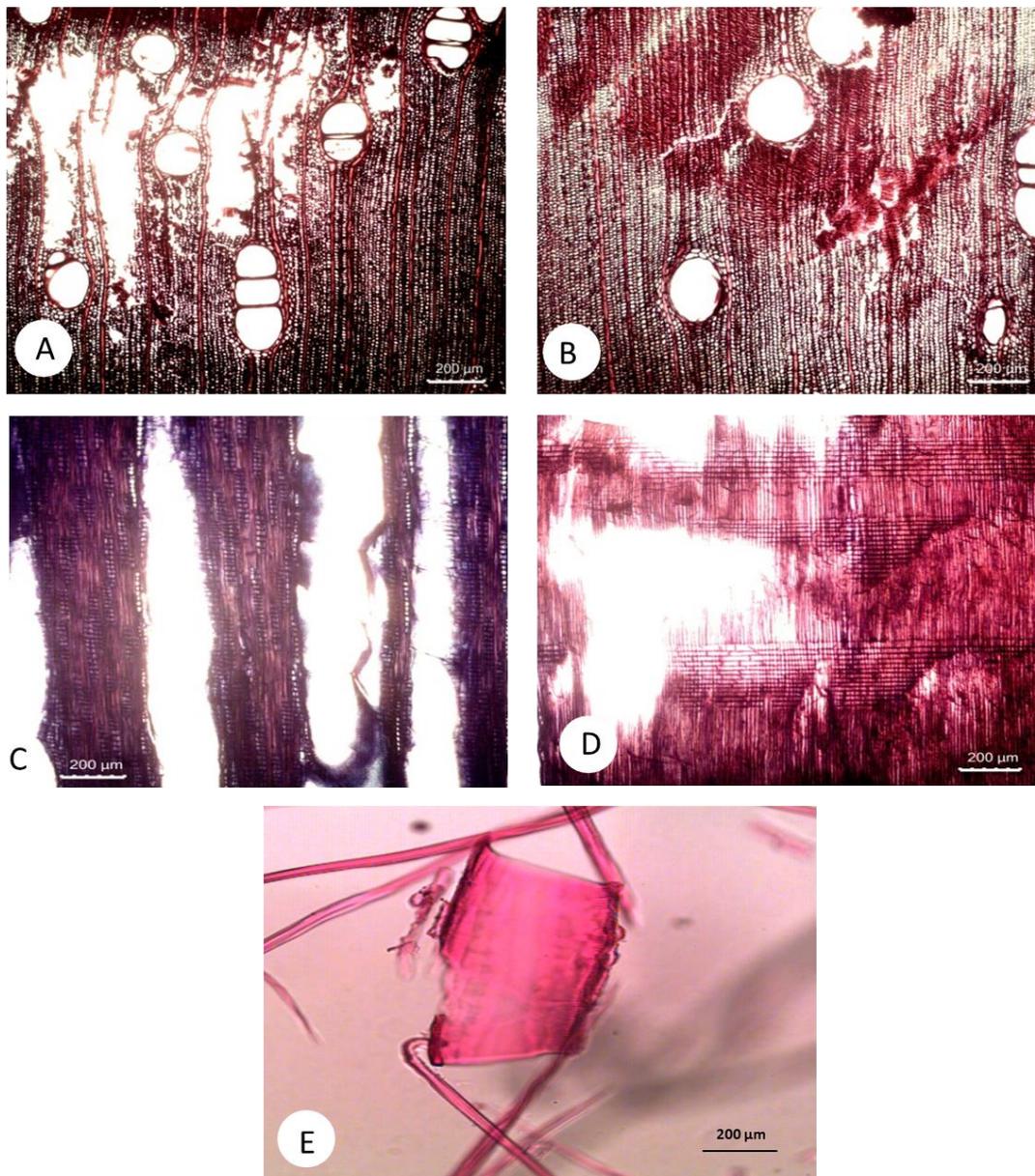
A *T. glauca* apresentou fragilização da microestrutura celular em maiores proporções quando comparado a *M. elata*, com maiores taxas de fissuras e fragmentos soltos de material.

No plano transversal, as toras do pátio 2009 na posição topo, centro e solo, pátio 2013 na posição topo e solo e pátio 2016 na posição solo, as fissuras eram frequentes e de grande dimensão, gerando espaços vazios por área (Fig. 8A). O efeito de perda de lignina nas madeiras estocadas no pátio de 2009 para todas as posições foi percebido pela diferença de intensidade de coloração durante o preparo das lâminas histológicas, onde a safranina que tem afinidade com a lignina realça regiões onde os teores são maiores (Fig. 8B).

No plano longitudinal tangencial (Fig. 8C) e longitudinal radial (Fig. 8D), as fissuras eram maiores e profundas, quase sempre paralela ao sentido dos raios.

As fibras não apresentaram colapso, entretanto os vasos eram frequentemente deformados. Clausen (2010) explica que isso ocorre devido o estreitamento da parede celular dos elementos fibrosos adjacentes mediante ataque; indicando o acontecido com os vasos da *T. glauca* em todos os pátios e posições (Fig. 8E).

Figura 8. Aspecto microscópico das deformações ocorridas nos cortes histológicos da *Tachigali glauca* Tul. **A** e **B** plano transversal; **C** plano longitudinal tangencial; **D** plano longitudinal radial; **E** vaso deformado. Aumento total de fotomicrografias de 40x.



A biometria dos elementos celulares tanto para *M. elata* como para *T. glauca* apresentaram variações mediante as mudanças ocorridas no câmbio durante cronossequência de deterioração, tendo variação de dimensões e proporções de elementos anatômicos.

Para ambas as espécies, todas as variáveis avaliadas apresentaram relações entre ano e posição altamente significativas de acordo com o teste HSD de Tukey a 5% de probabilidade de erro (Tab.1) apesar dos altos valores para desvio padrão e coeficiente de variação por tratar-se da média de medição de diferentes células de material biológico para uma mesma variável.

Cada tipo de célula anatômica em cada espécie avaliada pode produzir um comportamento diferente diante do processo degradativo.

Os elementos de vaso são capazes de conduzir os fatores intempéricos ao longo do eixo longitudinal da madeira. Para *M. elata* o comprimento dos elementos de vaso apresentaram menores valores na posição centro variando de 325,25 a 396,75  $\mu\text{m}$ , tendo um decréscimo de aproximadamente 90  $\mu\text{m}$  do comprimento de vaso do ano 2016 para 2009 independentemente da posição. O diâmetro dos elementos de vaso também seguiu a mesma tendência, com maiores valores para os anos de 2016 decrescendo aproximadamente 20  $\mu\text{m}$  para os anos de 2009 para todas as posições, variando de 112,92 a 141,36  $\mu\text{m}$ . A frequência se manteve com valores próximos, com 10 vasos/ $\text{mm}^2$  para quase todos os anos e posições. O agrupamento de vasos solitários e múltiplos de 2 a 5 resultaram em aproximadamente 70% e 35%, respectivamente.

Na *T. glauca* o comprimento dos elementos de vaso foram maiores no ano de 2013 para todas as posições, variando de 266,70 a 354,10  $\mu\text{m}$ . O diâmetro de vaso teve comportamento contrário ao comprimento, apresentando para as mesmas condições menores valores de diâmetro, variando de 175,78 a 226,93  $\mu\text{m}$ . A frequência não diferiu significativamente apresentando 4 vasos/ $\text{mm}^2$  tendo aproximadamente 60% de vasos solitários e 45% vasos múltiplos de 2 a 5.

Paula (2005) afirma que espécies que já se encontram degradadas antes mesmo da supressão, tendem a ter vasos de maiores diâmetros de agrupamento solitário; corroborando com a caracterização da *T. glauca* como uma espécie de rápida degradabilidade quando comparada a *M. elata*.

As dimensões das fibras costumam estar relacionada à altura das árvores e oferta de nutrientes oferecidos antes da supressão (BRAND et al., 2011). O comprimento das fibras da *M. elata* seguiu a tendência de maiores valores no ano de 2016 diminuindo com o passar do

tempo de exposição para todas as posições, variando entre 1124,92 a 1375,82  $\mu\text{m}$ . No entanto, essa diminuição foi maior na posição topo, seguida da posição solo e centro com perda de 234,6 e 108  $\mu\text{m}$  respectivamente. A espessura da parede da fibra foi estatisticamente semelhante para os todos os anos e posições, menos para madeiras estocadas no ano 2016 topo, variando de 17,53 a 20,80  $\mu\text{m}$ . A largura do lúmen da fibra teve valores de topo > centro > solo para todos os anos, variando de 2,48 a 3,29  $\mu\text{m}$ .

Essas fibras com maior comprimento tendem a apresentar maior fração de parede celular e menor índice de flexibilidade, garantindo resistência da espécie por mais tempo (PAULA, 2005; DENARDI, 2007).

O comprimento e espessura da parede da fibra para *T. glauca* foram maiores no ano 2016 em todas as posições, apresentando pequenas perdas de dimensão com o tempo de exposição ao intemperismo natural, tendo o comprimento variando de 904,61 a 1064,46  $\mu\text{m}$  e a espessura da parede variando de 15,45 a 18,86  $\mu\text{m}$ . De maneira inversa, a largura do lúmen apresentou para as mesmas condições menores valores, variando de 7,45 a 10,40  $\mu\text{m}$ .

Segundo Jansen et al. (2004), a maior quantidade de células de raio está relacionada à maior capacidade de armazenar nutrientes, o que deixa a madeira mais propícia ao ataque de xilófagos que buscam nos polissacarídeos alimento. Assim como, para Alves e Angyalossy-Alfonso (2000), a maior largura dos raios pode representar maior deslocamento dos agentes no sentido radial. Espécies que não tenham essas características diminuem o efeito da cronossequência de degradação.

Os menores valores de comprimento de raio da *M. elata* foram para as madeiras estocadas no ano de 2013 independente da posição, variando de 260,62 a 353,39  $\mu\text{m}$  para aproximadamente 11 células de raio. A largura dos raios apresentou comportamento idêntico ao comprimento, com valores entre 15,54 a 19,65  $\mu\text{m}$ . A frequência manteve-se com 13 raios/mm linear para quase todos os anos e posições.

Para *T. glauca* o comprimento do raio de 2016 > 2009 > 2013 para todas as posições, variando de 167,59 a 254,56  $\mu\text{m}$  para aproximadamente 9 células de raio. A largura do raio foi considerada estatisticamente semelhante entre todos os anos na posição solo e com menores valores no ano 2013 na posição topo e centro, variando de 11,25 a 24,14  $\mu\text{m}$ . A frequência dos raios se manteve entre 12 a 13 raios/mm linear para todos os anos e posições.

Tabela 1. Tabela biométrica dos elementos celulares, densidade básica e teor de extrativos totais da *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach e da *Tachigali glauca* Tul. de acordo com o ano de estocagem e posição das toras nas pilhas de madeira na área da Mineração Paragominas S.A.

		Elementos de vaso							Fibra			Raio					Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Extrativos (%)
		Comprimento (µm)	Diâmetro (µm)	Frequência (n°/mm <sup>2</sup> )	Agrupamento			Comprimento (µm)	Espessura da parede (µm)	Largura do lúmen (µm)	Comprimento (µm)	Largura (µm)	Comprimento (n° de células)	Largura (n° de células)	Frequência (n°/mm linear)			
					Vasos solitários (%)	Múltiplos de 2 (%)	Múltiplos de 3-5 (%)											
<i>M. elata</i>	SOLO	2016	479.53 d	141.36 a	10 b	42.6	19.9	37.5	1358.23 cd	17.53 a	3.29 c	324.76 cd	19.65 c	11	1	13 a	0.85 e	8.67 bc
		2013	412.59 c	115.40 de	12 c	63.4	22.3	14.4	1290.22 bcd	19.03 ab	3.07 c	260.62 a	17.61 bc	11	1	12 a	0.86 d	6.44 d
		2009	383.75 bc	112.92 e	10 bc	71.3	18.8	10	1124.92 a	20.65 b	3.26 c	353.39 d	19.06 c	14	1	13 a	0.84 e	5.61 e
	CENTRO	2016	396.75 bc	140.63 ab	10 b	64.5	24.6	10.9	1259.03 bc	19.95 b	2.92 bc	314.66 bcd	17.52 bc	13	1	12 a	0.90 c	6.91 d
		2013	369.64 b	129.35 abc	10 b	75.1	16	8.9	1237.39 b	20.80 b	2.65 ab	281.87 ab	16.67 ab	12	1	13 a	0.91 b	9.47 b
		2009	325.25 a	117.46 de	10 b	70.6	20.4	9	1253.81 bc	20.13 b	2.98 bc	314.38 bcd	18.35 bc	11	1	12 a	0.95 a	8.18 c
	TOPO	2016	493.89 d	130.73 bcd	10 bc	43.3	27.6	29.1	1375.82 d	19.45 b	2.84 abc	333.29 cd	19.09 c	12	1	13 a	0.85 e	10.57 a
		2013	420.33 c	124.25 bcd	8 a	43.8	38.5	17.7	1225.41 b	20.09 b	2.63 ab	263.50 a	15.54 a	13	1	12 a	0.90 c	9.52 b
		2009	390.90 bc	122.72 cde	12 c	68	21.6	10.4	1267.55 bc	19.02 ab	2.48 a	293.77 abc	19.10 c	11	1	13 a	0.84 e	10.98 a
F (AxP)		8.469 **	8.060 **	18.667 **				17.582 **	6.187**	11.212 **	10.680 **	14.372**			2.490 *	3.875 **	8.824**	
P- valor		1.08 e-06	2.26 e-06	1.11 e-14				7.67 e-14	6.63 e-05	7.44 e-09	1.97 e-08	2.45 e-11			0.042	2 e-16	2 e-16	
<i>T. glauca</i>	SOLO	2016	325.13 bcd	204.13 cd	4 a	67.7	24.2	8.1	958.73 abc	17.61 ab	7.45 a	216.17 ab	14.15 bc	9	1	13 bc	0.67 e	5.61 e
		2013	354.10 d	179.94 ab	4 a	77.5	8.3	14.2	917.05 ab	16.07 abc	9.67 cd	172.09 de	11.55 de	10	1	13 bc	0.50 b	5.23 cd
		2009	266.70 a	226.93 d	4 a	56.9	23.9	19.3	920.41 abc	16.55 abc	9.42 bcd	173.60 e	16.59 ab	9	1	11 a	0.39 a	4.22 b
	CENTRO	2016	327.47 bcd	202.77 bc	3 a	58	36	6	1064.46 d	18.86 a	8.53 abc	202.20 bc	14.03 cd	10	1	12 ab	0.65 d	5.44 d
		2013	341.65 cd	198.86 bc	4 a	56.8	11.9	31.4	947.61 abc	16.44 abc	10.40 d	167.59 e	11.25 e	9	1	13 bc	0.64 d	5.25 cd
		2009	307.18 abc	213.99 cd	4 a	76.6	16.1	7.3	987.44 bcd	16.08 bc	8.99 bcd	194.94 bcd	14.70 bc	9	1	12 ab	0.51 b	4.23 b
	TOPO	2016	287.09 ab	226.93 d	4 a	64.9	21.1	14	991.82 bcd	17.39 abc	7.48 a	254.56 a	24.14 a	9	1	12 ab	0.64 d	4.26 b
		2013	328.94 bcd	175.78 a	4 a	66.3	19.8	14	904.61 a	15.45 c	8.02 ab	183.58 cde	19.99 a	9	1	12 ab	0.58 c	4.52 c
		2009	327.75 cd	216.33 cd	4 a	56.1	15.8	28.1	994.85 cd	16.35 abc	9.71 cd	197.95 bc	16.98 a	10	1	13 bc	0.58 c	3.19 a
F (AxP)		12.742 **	9.566 **	5.682 **				4.846 **	3.123 *	17.185 **	26.31 **	14.497 **			21.025 **	4.373 **	3.706 **	
P- valor		4.65 e-10	1.47 e-07	1.64 e-04				7.25 e-04	0.01455	1.56 e-13	2 e-16	1.95 e-11			2 e-16	2 e-16	2 e-16	

Médias seguidas de uma mesma letra, em uma mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste HSD de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

\* Interação significativa.

\*\* Interação altamente significativa.

### 4.3. Densidade básica

A densidade tende a apresentar uma relação estreita com o comportamento das fibras durante a degradação (GONÇALEZ et al., 2010). Alguns autores (OLTEAN et al., 2008; POUBEL et al., 2011; PEREIRA et al., 2016) relataram que a maior densidade básica da madeira está relacionada à maior quantidade de fibras por mm<sup>2</sup>, maior espessura da parede das fibras e/ou menor quantidade de parênquima axial, raios e vasos indicando menor porosidade devido ao menor volume de espaços vazios na madeira, assim, o tamanho e proporção desses componentes anatômicos interferem diretamente no aumento ou diminuição de densidade, ganho de resistência à degradação e na capacidade de durabilidade natural do material.

Dispondo dessas características a *M. elata* teve alta densidade com valores entre 0,84 a 0,95 g/cm<sup>3</sup> sendo os maiores valores na posição centro para todos os anos. Em relação a *T. glauca*, a literatura a classifica como uma espécie de média a alta densidade, no entanto, foi verificado no presente estudo, que mesmo no ano 2016 a espécie já apresenta valores de densidade média diminuindo com o passar do tempo de exposição alcançando valores de densidade baixa, tendo uma perda de aproximadamente 0,30 g/cm<sup>3</sup> do ano 2016 para o ano 2009, independente da posição da tora na pilha (Tab.1).

Barros et al. (2006), demonstraram dados que indicam que espécies que perdem rapidamente densidade básica geralmente apresentavam maiores taxas de crescimento anual antes do corte, uma vez que diminuía o gasto energético com o espessamento e enrijecimento das células anatômicas, direcionando esse gasto para crescimento e sobrevivência.

Jankowska e Kozakiewicz (2016) associaram a perda de densidade e massa nas madeiras ao fenômeno de lixiviação dos extrativos na parede celular e hidrólise parcial de hemicelulose e celulose nas camadas subsuperficiais, enfraquecendo as estruturas anatômicas da espécie gerando conseqüentemente maior susceptibilidade ao meio em que se encontra.

#### 4.4. Teor de extrativos totais

Para Moraes et al. (2005) apesar dos extrativos não fazerem parte da estrutura da parede celular, sendo considerados constituintes secundários de baixa massa molecular presentes em baixa porcentagem na maioria das espécies, são os principais responsáveis pela resistência da madeira à degradação biológica uma vez que a presença nos vasos ou raios impede o deslocamento eficiente dos biodegradadores.

Os maiores valores de teor de extrativos totais para *M. elata* foram à posição solo e menores valores na posição topo independente do ano, variando de 10,98 a 5,61%, indicando uma perda de extrativos na direção topo - solo nas pilhas de madeira (Tab.1). Nzokou e Kamdem (2006) afirmaram que o decréscimo está em função da lixiviação dos extrativos pela água da chuva que consegue ter mais incidência no topo das pilhas.

As toras de *T. glauca* também tiveram o teor de extrativos maiores no ano 2016 em todas as posições diminuindo porcentagens com o passar do tempo, variando de 3,19 a 5,44%.

Em estudo realizado com espécies nativas da região amazônica foi observado que madeiras com teor de extrativos no cerne abaixo de 7% apresentam um baixo potencial de resistência natural, observando alta taxa de fragmentação e desintegração estrutural das madeiras (CARNEIRO et al., 2009).

## 5. CONCLUSÃO

A alocação das madeiras de *M. elata* e *T. glauca* em pátios de estocagem sob efeito do processo de intemperismo natural afetou desfavoravelmente a estrutura anatômica das espécies, apresentando fragilização estrutural, variações nas dimensões dos elementos e consequentemente perdas físicas e químicas que comprometem as propriedades e qualidade dessas madeiras.

Os indícios de degradação foram evidentes com o aumento temporal de estocagem e proximidade com o solo, sendo as toras mais deterioradas dos anos de 2009 e 2013 mais próximas ao solo para ambas às espécies.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11.941 - Determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro, 6 p. 2003.
- ALVES, E.S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some brazilian species. 1. Growth rings and vessels. **IAWA Journal**, 21(1): 330. 2000.
- AYADY, N.; LEJEUNE, F.; CHARRIER, F.; CHARRIER, B.; MERLIN, A. Color stability of heat-treated wood during artificial weathering. **Holz als Roh-und Werkstoff**. v. 61, n. 3, p. 221–226, 2003.
- BARROS, C.F.; MARCON-FERREIRA, M.L.; CALLADO, C.H.; LIMA, H.R.P.; CUNHA, M.; MARQUETE, O.; COSTA, C.G. Tendências ecológicas na anatomia da madeira de espécies da comunidade arbórea da Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**. v. 57(3), p. 443-460, 2006.
- BOX, G.E.P.; COX, D.R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Society**. v. 26, p. 211-252, 1964.
- BRAND, M.A.; MUÑIZ, G.I.B.; QUIRINO, W.F.; BRITO, J.O. Storage as a tool to improve wood fuel quality. **Biomass and Bioenergy**. v. 35 (7), p. 2581-2588, 2011.
- CAMPOS, J. A. O. Método para avaliação da durabilidade e da reabilitação da madeira de estruturas em serviço. 99 p. (Dissertação Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos, 2002.
- CARNEIRO, J.S.; EMMERT, L.; STERNADT, G.H.; MENDES, J.C.; ALMEIDA, G.F. Decay susceptibility of Amazon wood species from Brazil against white rot and brown rot decay fungi. **Holzforschung**. v. 63 (6), p. 767-772. 2009.
- CLAUSEN, C. A. Biodeterioration of wood. In: **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 2010.
- CORADIN, V.T.R.; MUNIZ, G.B. Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I. Angiospermae. II. Gimnospermae. IBAMA/DIRPED, Brasília, Série Técnica, LPF. v. 15, p. 1-19. 1992.
- CREEMERS, J.; MEIJER, M.; ZIMMERMANN, T.; SELL, J. Influence of climatic factors on the weathering of coated wood. **Holz als Roh-und Werkstoff**. v. 60, n. 6, p. 411-420, 2002.
- DANIEL, T.; HIRSCH, M. S.; MCCLELLAND, K.; ROSS, A. S.; WILLIAMS, R. S. Finding the balance between aesthetics and durability. **Coating Tech**. v. 1, n. 9, p. 42-48, 2004.
- DENARDI, L. Anatomia e flexibilidade do caule de quatro espécies lenhosas para o manejo biotécnico de cursos de água. (Tese Doutorado). Santa Maria – UFSM. 111p. 2007.
- DUCATTI, M. A.; JANKOWSKY, I. P.; ANDRADE, A. Condições da secagem convencional em indústrias madeireiras no município de Tietê, SP. **Scientia Forestalis**. n.59, p 101-113, 2001.
- FAN, Z.; CAO, K.; BECKER, P. Axial and radial variation in xylem anatomy of angiosperm and conifer trees in Yunnan, China. **IAWA Journal**. v. 30(1), p. 1-13, 2009.
- FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood – resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**. v. 155, p. 51, 1945.
- GATTO, D. A. Avaliação quantitativa e qualitativa da utilização madeireira na região da Quarta Colônia de imigração italiana no Rio Grande do Sul. (Dissertação Mestrado) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 108 f. 2002.

- GONÇALEZ, J. C.; FREIRE FÉLIX, T. L.; NUNES GOUVEIA, F.; ALVES CAMARGOS, J. A.; GOMES RIBEIRO, P. Efeito da radiação ultravioleta na cor da madeira de freijó (*Cordia Goeldiana huber*) após receber produtos de acabamentos. **Ciência Florestal**. vol. 20, n. 4, p. 657-664, 2010.
- HON, D.N.S. Weathering and photochemistry of wood. In: Hon, D.N.S.; Shiraishi, N. Wood and cellulosic chemistry. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 928 p. 2001.
- IAWA COMMITTEE. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**. v. 10, n. 3, p. 220-332, 1989.
- ISHIGURI, F.; HIRAIWA, T.; IIZULA, K.; YOKOTA, S.; PRIADI, D.; SUMIASRI, N.; YOSHIZAWA, N. Radial variation of anatomical characteristics in *Paraserianthes falcataria* planted in Indonesia. **IAWA Journal**. v. 30(3), p. 343-352, 2009.
- JANKOWSKA, A.; KOZAKIEWICZ, P. Evaluation of wood resistance to artificial weathering factors using compressive properties. **Drvna Industrija**. v. 67, n. 1, p. 3-8, 2016.
- JANSEN, S.; BAAS, P.; GASSON, P.; LENS, F.; SMETS, E. Variation in xylem structure from tropics to tundra: evidence from vested pits. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, Washington, v. 101, n. 2, p. 8833-8837, 2004.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.
- MORAIS, S. A. L. de; NASCIMENTO, E. A. do; MELO, D. C. de. Análise da madeira de *Pinus ocarpa*: parte I - estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**. v. 29, n. 3, p. 461-470, 2005.
- NZOKOU, P.; KAMDEM, D.P. Influence of wood extractives on the photodiscoloration of wood surfaces exposed to artificial weathering. **Color Res Appl**. v. 31, p. 425-434, 2006.
- OLTEAN, L.; TEISCHINGER, A.; HANSMANN, C. Wood surface discoloration due to simulated indoor sunlight exposure. **Holz als Roh- und Werkstoff**. v. 66, p. 51-56, 2008.
- PAULA, J.E. Caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do cerrado visando sua utilização na produção de energia. **Cerne**. v. 11(1), p. 90-100, 2005.
- PEREIRA, B.L.C. et al. Efeito da carbonização da madeira na estrutura anatômica e densidade do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**. v. 26, n. 2, p. 545-557, 2016.
- PINTO et al. Diagnóstico Socioeconômico e Florestal do Município de Paragominas. Relatório Técnico. Belém/PA: **Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia** - Imazon. 65 p. 2009.
- POUBEL, D.S. et al. Estrutura anatômica e propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus pellita* F.Muell. **Floram**. v. 18, n. 2, p. 117-126, 2011.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**. v. 52 p. 591-611, 1965.
- TAPPI T 264 cm-97. **Preparation of wood for chemical analysis**. Atlanta: Tappi Press, 1997.
- TUKEY, John. Comparing Individual Means in the Analysis of Variance. **Biometrics**. v. 5 (2), p. 99-114, 1949.
- XIE, Y.; KRAUSE, A.; MAI, C.; MILITZ, H.; RICHTER, K.; URBAN, K.; EVANS, P.D. Weathering of wood modified with the N-methylol compound 1,3- dimethylol-4,5- dihydroxyethyleneurea. **Polym Degrad Stabil**. v. 89, p. 189-199, 2005.