

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**INFLUÊNCIA DA DENSIDADE BÁSICA E DA COMPOSIÇÃO
QUÍMICA DA MADEIRA PARA A INDÚSTRIA DE POLPA
CELULÓSICA: UM ESTUDO DE CASO**

RAFAELLA DIAS RAMOS

**VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL
MAIO – 2023**

RAFAELLA DIAS RAMOS

**INFLUÊNCIA DA DENSIDADE BÁSICA E DA COMPOSIÇÃO
QUÍMICA DA MADEIRA PARA A INDÚSTRIA DE POLPA
CELULÓSICA: UM ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientador: Prof. D. Sc. Dalton Longue Júnior (UESB)

**VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL
MAIO – 2023**

RAFAELLA DIAS RAMOS

**INFLUÊNCIA DA DENSIDADE BÁSICA E DA COMPOSIÇÃO
QUÍMICA DA MADEIRA PARA A INDÚSTRIA DE POLPA
CELULÓSICA: UM ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Engenheira Florestal.

Aprovada em 30 de maio de 2023.

Comissão Examinadora:

Júlia de Cristo Figueiredo

M. Sc. Júlia de Cristo Figueiredo - UFRRJ

Natielly Cristine Gomes de Medeiros

Eng. Ftal. Natielly Cristine Gomes de Medeiros - UESB

Dalton Longue Júnior

Prof. Dalton Longue Júnior - UESB
Orientador

A Deus
A minha mãe e irmãos
E a todos os meus amigos

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, me dando força e determinação para não desanimar, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Em especial a minha mãe Patrícia (*in memoriam*), minha maior incentivadora e referência. Obrigada por ter sido sinônimo de amor, força e principalmente de felicidade.

Aos meus irmãos, Gabriela, Daniella e João Marcelo. Obrigada por estarem sempre do meu lado, e por serem minha fortaleza. Essencialmente a minha irmã Daniella, por ser minha âncora nos momentos mais difíceis, por acreditar no meu sucesso e não me deixar esquecer que o importante não é vencer todos os dias, mas lutar sempre.

A Malu, por toda palavra de carinho, apoio e incentivo demonstrado durante ao longo de todo este período.

As minhas mães do coração (Maria Eliza, Maria Sueni, Aleniz e Luza) por todo carinho, proteção e apoio ao longo de toda a minha trajetória.

A todos os professores, especialmente ao meu orientador Dalton Longue Júnior pelas valiosas contribuições dadas durante todo o processo.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para concretização desse curso.

RESUMO

RAMOS, Rafaella Dias. Discente do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, maio de 2023. **Estudo da densidade básica e da composição química da madeira para indústria de polpa celulósica: uma revisão bibliográfica.** Orientador: Dalton Longue Júnior.

Os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* representam as principais madeiras das florestas plantadas utilizadas pelo setor de celulose no Brasil, e por isso muitos estudos são realizados correlacionando as características tecnológicas da madeira e a qualidade da polpa celulósica. O objetivo principal deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre os estudos da densidade básica e da composição química da madeira com as variáveis de processo e com as características da polpa celulósica. O trabalho desenvolvido seguiu o princípio do estudo exploratório por meio de uma revisão de literatura. O material foi coletado em revistas científicas e repositórios de universidades públicas brasileiras que desenvolvem pesquisa no Setor de Celulose e Papel. Os principais estudos utilizados nesta pesquisa apontaram que os melhores clones utilizados na indústria de polpa de eucalipto apresentaram densidade básica entre 400 e 550 kg/m³, rendimento em polpa marrom entre 45 e 55%, número kappa 17-18 e viscosidade superior a 1200 cm³/g. Com relação aos melhores clones do gênero *Pinus*, estes apresentaram densidade básica variando entre 370 e 440 kg/m³, menor que a variação do Eucalipto; rendimento similar aos estudos com Eucalipto, variando entre 45 e 51%; e número kappa 30-32, maior que o utilizado em cozimentos com madeira de Eucalipto. Os cozimentos da madeira apresentaram tempos variando entre 140 a 235 minutos, sulfidez fixa de 30% e álcali ativo variando entre 17 e 21%. Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que dentre as características da madeira, a densidade básica foi a mais utilizada nas indústrias de celulose para nortear o rendimento do processo, enquanto o teor de extrativos e relação S/G da lignina foi pouco usada nas pesquisas.

Palavras-chave: densidade, composição química, qualidade da madeira, polpa celulósica.

ABSTRACT

RAMOS, Rafaella Dias. Student of the Forest Engineering at the Southwest Bahia State University, May 2023. **Study about basic density and chemical composition of wood for the pulp industry: a bibliographical review.** Advisor: Dalton Longue Junior

The genera *Eucalyptus* and *Pinus* represent the main woods of the planted forests used by the pulp industry in Brazil, and for this reason, many studies are carried out correlating the wood technological characteristics and the pulp quality. The main objective of this work was to perform a literature review on the studies of basic density and chemical composition of wood with process variables and pulp characteristics. The developed work followed the principle of exploratory study through a literature review. The material was collected in scientific journals and repositories of Brazilian public universities that develop researches in the pulp and paper sector. The main studies found in the research pointed out that the best clones used in the eucalyptus pulp industry had basic density varying between 400 and 550 kg/m³, brown pulp yield varying between 45 and 55%, kappa number 17-18, and viscosity higher than 1200 cm³/g. Relative to best clones from the *Pinus*, these showed basic density varying between 370 and 440 kg/m³, lower variation that showed on eucalyptus studies, similar yield as showed to eucalyptus studies, between 45 and 51%, and kappa number 30-32, higher than those showed on cooking with eucalyptus wood. The wood cooking showed times varying between 140 and 235 minutes, fixed sulfidity at 30%, and active alkali varying between 17 and 21%. The results obtained in this study allowed to conclude that among the wood characteristics, the basic density is the most used in pulp industries to guide the yield of the process, while the extractives content and S/G ratio of lignin is little used in researches.

Keywords: density, chemical composition, wood quality, cellulosic pulp.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 O setor de celulose no Brasil	11
2.2 Qualidade da madeira para produção de polpa celulósica.....	13
2.3 Importância das variáveis do processo na qualidade da polpa	14
3. METODOLOGIA.....	16
3.1 Pesquisa e seleção de material bibliográfico	16
3.2 Elaboração das planilhas de dados organizados a partir do material bibliográfico selecionado.....	17
3.3 Estabelecimento das correlações entre a qualidade da madeira, variáveis do processo de polpação e características da polpa celulósica.....	17
3.4 Tabela comparativa das características da polpa celulósica e das variáveis do processo de polpação	17
4. RESULTADO E DISCUSSÃO	19
4.1 Estudo da densidade básica da madeira na qualidade de polpa celulósica	20
4.2 Estudo da composição química da madeira na qualidade da polpa celulósica	23
4.3 Estudo dos parâmetros do processo de polpação na qualidade da polpa marrom.....	31
5. CONCLUSÕES	33
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2022), o Brasil possui o total de 9,93 milhões de hectares de área destinada a árvores plantadas, sendo considerado um país de referência mundial quando o assunto é produtividade de plantios florestais. Como vantagem comparativa para produção florestal em relação a outros países, o Brasil possui condições edafoclimáticas favoráveis que estimulam o setor florestal a investir em pesquisa e desenvolvimento das melhores técnicas de manejo florestal, melhoramento genético e práticas industriais sustentáveis.

Os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* representam as principais madeiras utilizadas pelo setor de celulose, com 75,8% e 19,4%, respectivamente, da área total de árvores plantadas. A polpa celulósica proveniente dessas madeiras representa 59% dos produtos exportados, e por isso o Brasil foi considerado como o maior exportador de celulose no mercado mundial em 2021 (IBÁ, 2022).

Nesse cenário, a madeira é considerada uma matéria-prima de importância econômica para o setor de celulose, devido seu elevado custo, e que merece estudos prévios à sua utilização para uma melhor eficiência dos processos e aproveitamento. Por tratar de um produto heterogêneo, duas amostras de uma mesma árvore podem apresentar propriedades físicas e mecânicas significativamente diferentes. Ainda mais, é um material anisotrópico e apresenta diferentes propriedades físicas quando consideradas as três direções de corte, e é higroscópica, por apresentar forte variação na umidade de acordo com a umidade e temperatura atmosféricas. Essas variações da madeira causam efeitos significativos na qualidade dos produtos finais.

É importante ressaltar que não existe só um parâmetro para determinar a qualidade da madeira, e sim uma relação de características físicas (densidade básica) e químicas (teor de celulose, hemicelulose, lignina, extrativos) mostrando o grande potencial dessas características da madeira no rendimento, na qualidade da polpa e do papel. A densidade básica é utilizada na maioria dos trabalhos de pesquisa para expressar a qualidade da madeira, pois além de ser uma propriedade que exige uma instrumentação mais simples para determinação, tem forte influência na qualidade do produto e expressa relações com as propriedades do mesmo.

De maneira ainda mais específica, em relação ao processo de polpação, a composição química da madeira afeta, por exemplo, o consumo de reagentes químicos no digestor, o rendimento depurado e o teor de sólidos no licor, de forma que compreender a natureza química da madeira é essencial para o aprofundamento de estudos de aperfeiçoamento qualitativo e quantitativo do produto final.

Neste trabalho são apresentadas as principais relações da composição química da madeira com outras propriedades, com as variáveis do processo de polpação e com as características da polpa celulósica, com considerações de autores sobre a importância de estudar a densidade e estudos de caso que consideram a densidade da madeira.

Diante disso, o objetivo principal deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre a influência da densidade básica e da composição química da madeira com as principais variáveis do processo de polpação e com as características da polpa celulósica não branqueada (polpa marrom).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O setor de celulose no Brasil

O setor de celulose vem contribuindo de forma expressiva para o desenvolvimento socioeconômico do Brasil. Este setor é abastecido exclusivamente por madeira oriunda de florestas plantadas, com características adequadas para atingir altas produtividades nas fábricas. De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), o setor de celulose e papel é composto por 220 empresas com atividade em 540 municípios, localizados em 18 Estados do Brasil, gerando 128 mil empregos diretos e 640 mil empregos indiretos.

O Brasil ocupa posição de destaque entre os maiores produtores de polpa celulósica do mundo, estando atualmente em 2º lugar, com uma produção de 22,5 milhões de toneladas (IBÁ, 2022). É importante ressaltar que a celulose produzida no Brasil provém de madeiras de *Eucalipto* e *Pinus*, que geram polpa celulósica de fibra curta e fibra longa, respectivamente.

Além disso, a produção de polpa celulósica foi de 22,5 milhões de toneladas em 2021, e o setor de celulose se caracteriza por seu potencial exportador ao destinar 70% dessa produção para o mercado externo. A polpa celulósica se manteve como o principal produto de exportação do setor, passando de U\$S 6,0 bilhões em 2020 para U\$S 6,7 bilhões em 2021 (IBÁ, 2022).

A participação do país no mercado internacional está fortemente associada à alta produtividade das florestas plantadas, consequência do programa de melhoramento genético, práticas silviculturais e de manejo florestal, que associados as condições favoráveis de solo e clima, disponibilidade de área e ciclo mais curto para corte da madeira resultam em plantios produtivos (REVISTA FERROVIÁRIA, 2022). Segundo Gomes (2011), estar no ranking dos maiores produtores mundiais de polpa celulósica e o seu reconhecimento como um dos principais participantes neste mercado se deve basicamente ao desenvolvimento de tecnologias focadas na silvicultura de florestas plantadas altamente produtivas e grandes investimentos nas fábricas de transformação da madeira em polpa.

Por fim, o setor promete continuar apresentando crescimento devido ao anúncio de novas fábricas e projetos florestais para os próximos anos. O ciclo de investimentos deve superar R\$ 63 bilhões, liderados por empresas globais como: Suzano, Klabin, CMPC e Arauco (REVISTA FERROVIÁRIA, 2022).

- Projeto Cerrado: a Suzano está investindo R\$ 19,3 bilhões para construção de uma nova fábrica de celulose de eucalipto em Mato Grosso do Sul, com capacidade de produção de 2,55 milhões de toneladas por ano e início de operação previsto para o segundo semestre de 2024.

- Projeto Sucuriú: a empresa chilena Arauco planeja investir R\$ 15 bilhões em uma fábrica de celulose no Mato Grosso do Sul, com capacidade de 2,5 milhões de toneladas por ano de celulose de eucalipto. O início de operação está previsto para o primeiro trimestre de 2028 e há previsão de uma segunda fase do projeto no futuro.

- Projeto Puma II: a Klabin está investindo R\$ 12,9 bilhões na construção de duas máquinas de papéis para embalagem, em Ortigueira (PR), com capacidade de produção de 450 mil toneladas por ano de papel kraftliner e 460 mil toneladas por ano de papel cartão.

- LD Celulose: iniciou as operações de sua fábrica de celulose em Minas Gerais em abril 2022, com investimento de US\$ 1,38 bilhão, com capacidade de produção de 500 mil toneladas por ano.

- Projeto BioCMPC: o grupo chileno CMPC está investindo R\$ 2,75 bilhões na fábrica de celulose de Guaíba, no Rio Grande do Sul. O investimento se destina à modernização, ampliação de capacidade produtiva em 20% e sustentabilidade.

- Projeto Figueira: a Klabin aprovou em julho 2022 a construção de uma nova fábrica de papelão ondulado, mediante investimentos de R\$ 1,57 bilhão, com capacidade de produção de 240 mil toneladas por ano, no interior de São Paulo, com início de operação no segundo trimestre de 2024.

- Plataforma Gaia: a Irani Papel e Embalagem está investindo quase R\$ 1 bilhão em um portfólio de nove projetos até 2024, em Santa Catarina.

- Suzano Aracruz: a Suzano anunciou em junho de 2022 planos de construção de uma nova fábrica de papéis de higiene (tissue), com investimento R\$ 600 milhões e capacidade instalada de até 60 mil toneladas por ano, em Aracruz (ES).

2.2 Qualidade da madeira para produção de polpa celulósica

A qualidade da madeira para produção de polpa celulósica tem sido foco de muitos estudos, visto que o produto final é influenciado pela matéria-prima que lhe deu origem. Existem diversos parâmetros que são utilizados para a determinação da qualidade das madeiras, normalmente classificados como físicos (densidade básica), químicos (teor de holocelulose, lignina, extrativo, S/G) e anatômicos (comprimento das fibras e porosidade).

Segundo Morais (2008), os métodos convencionais para se avaliar a qualidade da madeira para a produção de celulose incluem avaliação da sua densidade e polpabilidade.

Muitos outros estudos indicaram a densidade básica como importante instrumento de avaliação da qualidade da madeira, com boa relação com os parâmetros do processo e qualidade do produto final. Kollmann (1959) enfatiza a importância da densidade básica da madeira, por ser uma característica física de referência de qualidade, podendo ser também um fator de decisão para a utilização da madeira.

Para a indústria de celulose e papel, uma avaliação adequada da densidade básica fornece indicações bastante precisas sobre a impregnação dos cavacos, rendimento do processo, consumo de reagentes de cozimento, teor de rejeitos e, geralmente, está associada às características de qualidade e de resistências físico-mecânicas da polpa (QUEIROZ, 2004; COELHO, 2017). Segundo Barrichelo et al., (1975), a densidade básica é um dos mais utilizados parâmetros de qualidade da madeira e tem alta correlação com o rendimento na produção de celulose.

De acordo com Gomes (2009), a densidade básica tem sido considerada como o primeiro parâmetro para se avaliar a qualidade da madeira, visando a polpa celulósica, principalmente por ser uma característica física menos complexa e rápida de determinar.

Além da densidade básica da madeira, a qualidade da polpa celulósica também está diretamente relacionada à composição química da madeira. Estudos relacionando a qualidade da polpa e os parâmetros do processo com a composição química da matéria prima também são bastante comuns em trabalhos publicados.

A química fina da madeira, especialmente quanto aos seus teores de celulose, hemiceluloses, extrativos, ligninas e relação siringila-guaiacila (S/G) da

lignina, são normalmente relacionados com os aspectos quantitativos de rendimento e consumo de produtos químicos durante os processos de polpação e branqueamento (GOUVÊA et al., 2009).

Wallis et al. (1996a) estabeleceram correlações significativas entre as propriedades químicas da madeira e as propriedades da polpa. O teor de lignina e de extrativos apresentaram correlação negativa com o rendimento da polpação Kraft, enquanto que para frações de carboidratos, o teor de α -celulose e holocelulose correlacionaram-se positivamente com rendimento em polpa.

Além disso, a composição química da madeira desempenha um importante papel econômico no processo de produção de polpa, uma vez que afeta parâmetros como consumo de álcali, rendimento do processo e qualidade da polpa produzida. (SEGURA, 2015). Dueñas (1997) em seus estudos, ressalta a importância do conhecimento das propriedades químicas da matéria-prima que será utilizada nos processos para obtenção de polpa celulósica e produção de papel.

Os ácidos urônicos são compostos químicos que estão presentes em pequenas quantidades na madeira, e que durante o processo de polpação Kraft se transformam em ácidos hexenurônicos e promovem um aumento do consumo de reagentes químicos nas etapas de polpação e branqueamento, e ainda reduzem a qualidade da polpa branqueada (JIANG et al., 2000).

2.3 Importância das variáveis do processo na qualidade da polpa

A qualidade da polpa celulósica é influenciada por variáveis associadas ao processo de polpação, como: tipo de digestor e tipo de cozimento, composição do licor branco, carga alcalina, sulfidez, relação licor/madeira, tempo e temperatura de cozimento (GOMES, 2019). Segundo Cardoso et al. (2011), as variáveis de cozimento como temperatura e álcali ativo afetam fortemente o processo de deslignificação e a qualidade da polpa final.

Os ácidos urônicos da madeira se transformam em ácidos hexenurônicos durante a polpação kraft, em maior ou menor quantidade, a depender das condições do processo. Em estudos feitos por Brasileiro et al. (2001) e Kramarski (2004), foi constatado que a presença de ácidos hexenurônicos influenciaram em um maior consumo de reagentes químicos, bem como reduziram a alvura da polpa branqueada. Costa, Munteer e Colodette (2001) citam que as condições da

polpação que mais influenciam o conteúdo de ácidos hexenurônicos na polpa celulósica são: carga de álcali ativo, sulfidez e temperatura. O mesmo foi observado por Daniel et al (2003), que constatou que a formação e a degradação dos ácidos hexenurônicos durante o cozimento foi influenciada pelo tempo de polpação, temperatura e carga alcalina, bem como as interações entre tais variáveis.

Segundo Gomide (2006), madeiras com maior teor de lignina exigem maiores cargas de reagentes químicos durante o processo de cozimentos, assim como maiores teores de extrativos também colaboram para tal. Os extrativos também apresentam maior potencial de substâncias hidrofóbicas e oleosas no processo, que vão se acumulando e levam a formação de “*pitch*”, depósitos de substâncias consideradas contaminantes no processo de polpação.

Silva Júnior (2005) destacou que o aumento da carga alcalina do cozimento proporcionou redução significativa do rendimento total do processo de polpação. Além disso, Ferreira (2000) mencionou que quanto maior a temperatura empregada, maior o consumo de álcali durante a polpação, o que resultou na queda da viscosidade da polpa, devido a maior taxa de reações de despolimerização terminal e de hidrólise alcalina das ligações glicosídicas. Dessa forma, Gomes et al. (2019), no seu trabalho sobre a influência da temperatura na qualidade de polpa Kraft, confirmaram esse comportamento, de que o consumo de álcali efetivo aumentou à medida que se aumentou a temperatura do processo.

3. METODOLOGIA

3.1 Pesquisa e seleção de material bibliográfico

O trabalho seguiu o princípio do estudo exploratório por meio de uma revisão de literatura, desenvolvida a partir da seleção de material publicado, composto por artigos científicos, dissertações e teses.

O material foi coletado em revistas científicas, como: Revista *Árvore*, *Scientia Forestalis*, *Ciência Florestal*, *Cerne*; e repositórios de teses e dissertações de universidades brasileiras: Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Universidade Federal de Viçosa (UFV) e Escola Superior Luiz de Queiroz (ESALQ), utilizando as seguintes palavras chaves: composição química, polpa celulósica e qualidade da madeira de pinus e eucalipto. Foram selecionados inicialmente 28 artigos e 45 dissertações/teses publicadas entre o ano de 2000 e 2021.

Em seguida, foi feita uma leitura/triagem, considerando como critério de seleção as bibliografias que abordassem a qualidade da madeira (densidade básica e composição química) com relação às variáveis de processo de polpação e caracterização da polpa marrom.

Num terceiro nível de seleção, foram consideradas as publicações que especificavam os gêneros dos clones/espécies (*Eucalyptus* e *Pinus*) e demais informações sobre a madeira, e que apresentaram claramente as variáveis de polpação mais usuais pelas fábricas de celulose no Brasil ou adotadas em pesquisas em laboratórios das universidades. Nessa seleção foram considerados 19 artigos e 30 dissertações/teses.

Essa seleção foi importante para padronizar o material de pesquisa e permitir a visualização mais clara das relações entre as características da madeira, as variáveis do processo de polpação e as características da polpa marrom.

3.2 Elaboração das planilhas de dados organizados a partir do material bibliográfico selecionado

As informações extraídas das bibliografias selecionadas foram organizadas em planilhas contendo as informações mais relevantes para esse estudo, com informações sobre as espécies/clones, idade, espaçamento e local, conforme Anexo I-A para as madeiras do gênero *Eucalyptus* e Anexo II-A para as madeiras do gênero *Pinus*.

Com relação as características da madeira (densidade e composição química), variáveis do processo de polpação (tempo total de cozimento, álcali ativo, sulfidez), características da polpa (rendimento, número kappa e viscosidade) e autor/data, essas informações foram disponibilizadas no anexo I-B para as madeiras do gênero *Eucalyptus* e II-B para as madeiras do gênero *Pinus*.

3.3 Estabelecimento das correlações entre a qualidade da madeira, variáveis do processo de polpação e características da polpa celulósica

Para a realização dos estudos foram criados gráficos de correlação entre todas as variáveis selecionadas. Foi feita a correlação entre a densidade básica e a composição química da madeira (teor de holocelulose, lignina total, extrativo e relação SG da lignina); com as variáveis do processo (tempo total de cozimento, álcali ativo e sulfidez) e com as características da polpa marrom (rendimento, número kappa e viscosidade).

A partir da observação da relação entre todas as variáveis acima, foi inserida uma linha de tendência linear, de modo a auxiliar no entendimento do nível de relação entre as variáveis.

3.4 Tabela comparativa das características da polpa celulósica e das variáveis do processo de polpação

Para finalizar o trabalho e tentar entender ainda melhor a relação da qualidade da madeira (densidade básica e composição química) no processo de

polpação e na qualidade da polpa marrom, dentre os trabalhos selecionados, foi elaborada uma tabela comparativa (Anexo I-C).

Foram escolhidos três diferentes tempos de cozimento (140, 150 e 235 min), consideradas condições extremas, para estabelecer as comparações entre as variáveis da qualidade da madeira e as características da polpa marrom (rendimento, número kappa e viscosidade). Essa comparação busca entender em que condições deve-se alterar as variáveis de processo (carga alcalina), devido a variação da qualidade da madeira (densidade básica e composição química), e o reflexo dessa combinação na qualidade da polpa marrom.

A comparação nas condições extremas de processo não foi possível de ser realizada para madeira de mesma idade/espaçamento, pois essas condições extremas foram justamente utilizadas devido a grande variação da qualidade da madeira utilizada nessas pesquisas.

Essa tabela foi organizada apenas para os dados das madeiras do gênero *Eucalyptus*, devido a pouca quantidade de dados referentes às madeiras do gênero *Pinus*.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Com base nos trabalhos publicados utilizados nesta pesquisa, foram coletados dados de 59 materiais genéticos (clones), dentre os quais 79,7% eram relativos ao gênero *Eucalyptus* (47 clones) e 20,3% das madeiras ao gênero *Pinus* (12 clones), sendo todos os trabalhos relativos à produção de polpa celulósica marrom.

Outro fato importante de ser relatado foi sobre a falta de informação dos plantios florestais. A idade do clone não foi informada em 28% dos trabalhos de eucalipto e 17% dos trabalhos de pinus; o espaçamento dos plantios não foi informado em 57% dos trabalhos de eucalipto e 83% dos trabalhos de pinus; e o local de procedência não foi informado em 28% dos trabalhos de eucalipto, tendo sido informado em todos os trabalhos de pinus.

Considerando todas as informações do plantio como importantes (idade, espaçamento e procedência), apenas 45% apresentou todas as informações dos trabalhos de eucalipto e 0% dos trabalhos de pinus.

Sobre a falta de informações da qualidade da madeira (densidade básica e composição química completa), todos os trabalhos de eucalipto apresentaram a densidade básica, teor de lignina total, holocelulose e extrativos. Porém, 64% dos trabalhos de eucalipto não apresentaram o teor de celulose e de hemicelulose separadamente, e 36% não apresentou a relação S/G da lignina. A qualidade da madeira de pinus, em termos de densidade básica, teor de lignina total, holocelulose e extrativos, foi informada em todos os trabalhos. Por outro lado, o teor de celulose e hemicelulose não foi informado.

Considerando todas as informações da qualidade da madeira como importantes (densidade básica e composição química completa), apenas 30% dos trabalhos de eucalipto apresentou todas as informações e 0% dos trabalhos de pinus.

Isso demonstra que é preciso um maior investimento na realização de análises de qualidade da madeira para a avaliação do processo de polpação e qualidade da polpa celulósica.

4.1 Estudo da densidade básica da madeira na qualidade de polpa celulósica

Com base neste estudo de caso, o rendimento em polpa de eucalipto variou entre 47,3 e 57,6%, para uma variação de densidade básica entre 276 e 668 kg/m³ (Figura 1A). Entretanto, é perceptível que a maioria dos resultados de densidade básica observada nos melhores clones para produção de polpa celulósica variou entre 400 e 550 kg/m³, conforme Figura 1A. O rendimento em polpa marrom praticamente não variou com a densidade básica da madeira. Este comportamento pode ser explicado porque as condições operacionais do processo são ajustadas visando o número kappa objetivo (17-18) e um maior rendimento depurado possível.

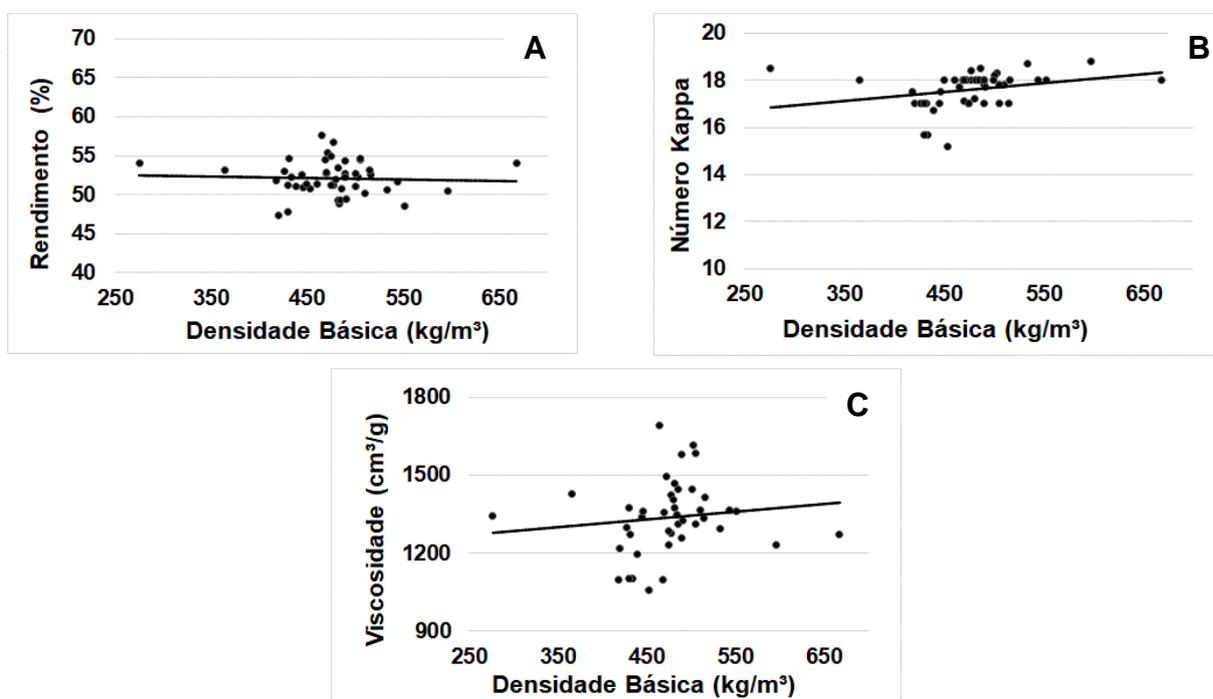


Figura 1 - Relação da densidade básica da madeira de eucalipto com o rendimento em polpa marrom (A); número kappa da polpa marrom (B) e viscosidade da polpa marrom (C).

Segundo Medeiros Neto (2012), madeiras com densidades básicas elevadas acompanhadas de altos teores de lignina tem como efeito a redução do rendimento do processo de polpação Kraft e aumento do número kappa, considerando as mesmas condições de polpação.

Queiroz et al. (2004), trabalhando com dois clones de eucalipto de densidades básicas bem distintas (447 e 552 kg/m³), também encontraram relação inversa entre densidade básica e rendimento em polpa marrom. Estes autores mencionaram que, provavelmente, este fato ocorre devido à maior dificuldade de

impregnação dos cavacos de maior densidade, o que resulta em maior demanda de álcali no cozimento e, conseqüentemente, em rendimento depurado mais baixo.

O número kappa da polpa marrom aumentou com a elevação da densidade básica da madeira, e variou entre 15 e 19 para os melhores materiais identificados na pesquisa, para uma variação de densidade básica entre 276 e 668 kg/m³ (Figura 1B). Contudo, o intervalo de número kappa 17-18 é mais comum em fábricas de celulose, conforme Figura 1B. Este trabalho mostrou que madeiras mais densas são cozidas a um número kappa maior, provavelmente para aumentar o rendimento ou preservar as cadeias de celulose (maior viscosidade). Entretanto, a escolha do número kappa em um processo industrial independe da densidade básica da madeira, e as fábricas variam as cargas alcalinas e outras variáveis de processo (tempo, temperatura e sulfidez) em função desse número kappa objetivo, normalmente 17-18.

Santos (2018) explica que esse comportamento de aumento do número kappa com aumento da densidade básica da madeira acontece devido à presença de frações não celulósicas como concentrações de lignina residual, extrativos e ácidos hexenurônicos que a polpação não foi capaz de solubilizar, permanecendo estes na parede celular das fibras.

Por fim, com relação aos resultados de viscosidade observados para as madeiras de eucalipto, as polpas apresentaram uma tendência de aumento à medida que a densidade básica da madeira aumentou (Figura 1C). A variação da viscosidade foi de 1055 a 1690 cm³/g, ficando a maioria dos valores encontrados no intervalo entre 1200 e 1500 cm³/g para uma variação de densidade básica entre 400 e 550 kg/m³. A viscosidade é um reflexo das condições do cozimento que são definidas de forma a obter uma polpa de número kappa 17-18 e de viscosidade superior a 1200 cm³/g (QUEIROZ, 2002).

Isso acontece devido a madeira mais densa consumir mais álcali ativo do que madeiras de baixa densidade e sofrerem maior degradação de carboidratos e, conseqüentemente perda de viscosidade (MOKFIENSKI et al, 2008). Queiroz et al. (2004) encontraram diferenças significativas de viscosidade de dois clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com seis anos de idade e densidades básicas de 447 kg/m³ e 552 kg/m³, em que a viscosidade da polpa proveniente da madeira de alta densidade foi 13,6% menor que a viscosidade da madeira de baixa densidade. Esses autores também justificam esse comportamento pela

concentração alcalina mais elevada utilizada para promover a deslignificação da madeira de alta densidade.

Diante dessa importante discussão da densidade básica da madeira, as fábricas de celulose têm preferido trabalhar com madeiras de densidade média a levemente alta afim de produzir uma maior quantidade de polpa celulósica por dia. Em outras palavras, a qualidade da polpa celulósica pode ser ajustada durante o processo, mas o uso de madeira de média densidade leva a uma maior produção diária do digestor, o que proporciona um menor consumo específico de madeira.

Com relação aos resultados encontrados em pesquisas publicadas utilizando madeiras do gênero *Pinus*, o rendimento da polpa variou entre 44,2 e 50,7% para uma variação de densidade básica entre 373 e 436 kg/m³ (Figura 2A), bem inferior a densidade básica utilizada para as madeiras de eucalipto (Figura 1A). A relação entre densidade básica e rendimento da polpa marrom de pinus apresentou uma tendência de decréscimo à medida que a densidade básica da madeira aumentou, conforme Figura 2A. Apesar da densidade básica das madeiras de pinus ser inferior á das madeiras de eucaliptos, o rendimento em polpa celulósica foi similar, o que mostra ser possível conseguir bons rendimentos a partir de madeiras pouco densas, desde que as variáveis do processo de polpação sejam ajustadas.

O número kappa da polpa marrom de pinus diminuiu com a elevação da densidade básica da madeira (Figura 2B), de forma contrária a tendência observada para as madeiras de eucalipto, e variou de 30,9 a 31,5 para os melhores materiais na pesquisa, para uma variação de densidade básica entre 376 e 394 kg/m³, conforme Figura 2B. Foi possível observar que a maioria dos estudos objetivaram número kappa em torno de 30, muito comum em indústrias que cozinham cavacos de pinus. Em madeiras mais densas, isso acontece devido a necessidade de aumentar a quantidade de carga de álcali para atingir o número kappa menor. Barbosa et al. (2008) afirmaram que através da densidade básica do povoamento, estima-se a quantidade de carga de álcali que será utilizada, além da estimativa do rendimento.

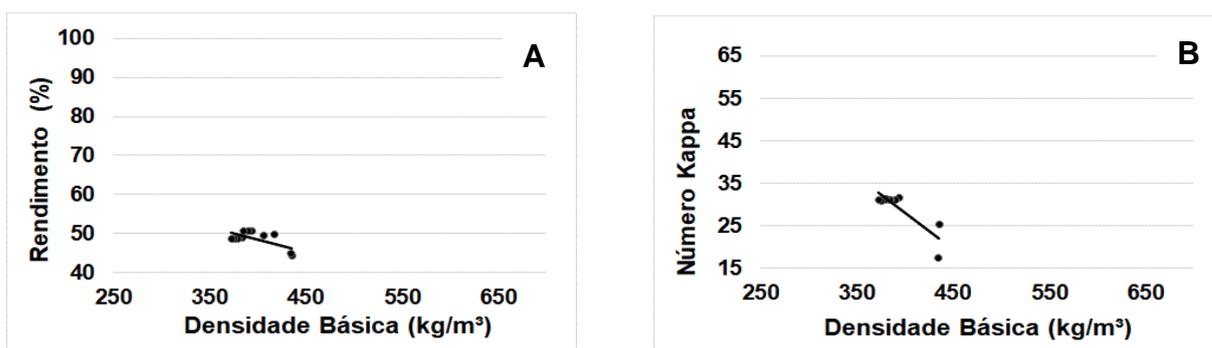


Figura 2 - Relação da densidade básica da madeira de pinus com o rendimento em polpa marrom (A) e número kappa da polpa marrom (B).

Após a análise desses estudos ficou claro que os melhores clones utilizados para a indústria de polpa de eucalipto apresentaram maior densidade básica (400 a 550 kg/m³), rendimento em polpa marrom entre 47.3 e 57,6%, número kappa 17-18 e viscosidade superior a 1200 dm³/g, enquanto os melhores clones utilizados na indústria de polpa de pinus apresentaram menor densidade básica, entre 373 e 436 kg/m³, rendimento similar entre 44,2 e 50,7% e maior número kappa 30-32.

4.2 Estudo da composição química da madeira na qualidade da polpa celulósica

A composição química da madeira também influencia de forma significativa no cozimento da madeira e na qualidade da polpa marrom. Com relação aos resultados encontrados sobre as madeiras de eucalipto, o rendimento em polpa marrom teve uma leve tendência de aumento à medida que o teor de holocelulose da madeira aumentou (Figura 3A). O rendimento em polpa variou acima de 50% por se tratarem de resultados de pesquisa de laboratório com clones de interesse industrial, desenvolvidos para essa finalidade. Entretanto, importante perceber que esse rendimento superior a 50% ocorreu quando o teor de holocelulose da madeira estava em torno de 55-60%, chegando a quase 55% de rendimento quando o teor de holocelulose atingiu 65,5%, conforme Figura 3A. Rendimento em polpa próximos a 55% são característicos de processos de polpação Kraft de madeiras de boa qualidade.

Isso acontece devido às madeiras com maiores teores de holocelulose apresentarem baixos teores de lignina e extrativo. De acordo com Segura (2015), um alto teor de holocelulose afeta positivamente o rendimento dos processos de polpação. Em seus estudos, a madeira de *Corymbia citriodora* (CIT 01) apresentou

proporção de holocelulose maior que 70%, com rendimento depurado de CIT 01 (54%)

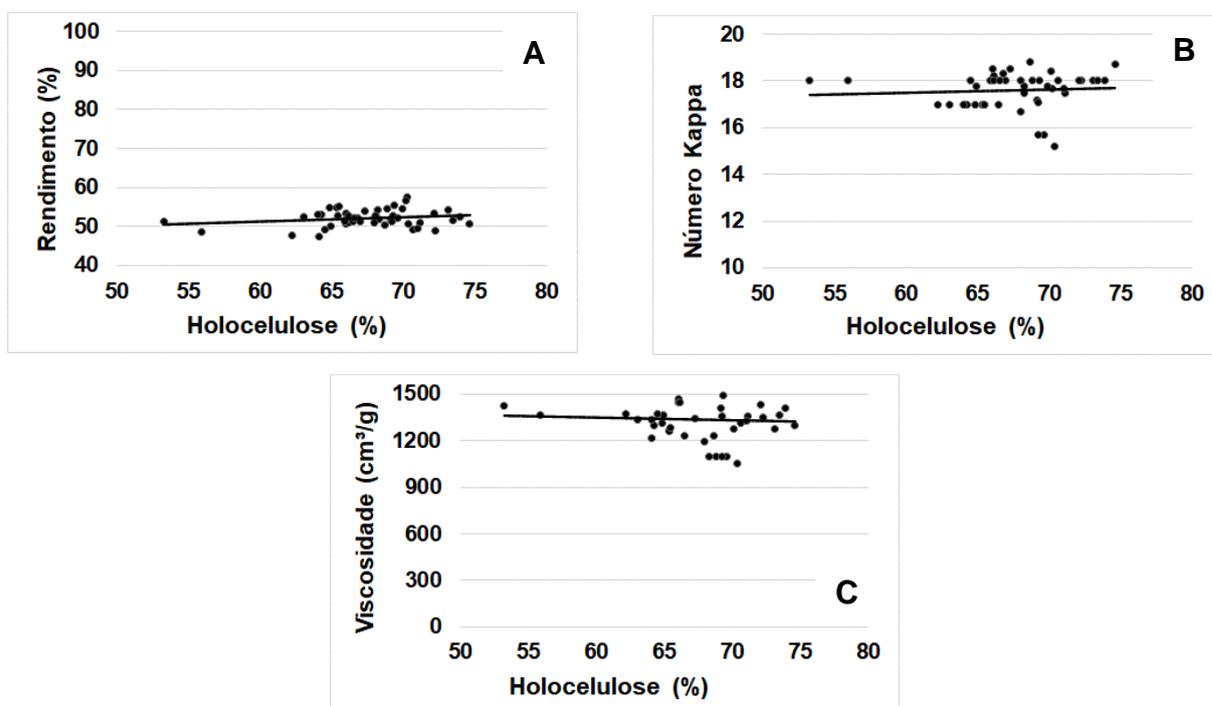


Figura 3 - Relação do teor de holocelulose da madeira de eucalipto com o rendimento em polpa marrom (A); número kappa da polpa marrom (B) e viscosidade da polpa marrom (C).

O número kappa da polpa marrom de eucalipto é estabelecido entre 17 e 18 pela maioria das pesquisas, por ser um objetivo das fabricas. É difícil perceber uma relação do teor de holocelulose da madeira com o número kappa, pois mesmo para madeiras com maior teor de lignina, e conseqüentemente com maior dificuldade de cozimento, a meta de número kappa 17-18 deve ser atingida nas empresas (Figura 3B). Importante notar que foi visualizada uma variedade de materiais com elevado teor de holocelulose entre 55 e 75%, de acordo Figura 3B, todos atingindo a meta de cozimento das empresas e sendo indicadas para produção de polpa celulósica devido a tecnologia dos cozimentos terem permitido uma deslignificação mais uniforme.

A viscosidade da polpa marrom teve uma tendência de se manter constante à medida que o teor de holocelulose da madeira aumentou, conforme Figura 3C. A variação da viscosidade foi de 1056 a 1690 cm³/g, ficando a maioria dos valores no intervalo de 1376 a 1412 cm³/g para uma variação de holocelulose entre 60 e 75%.

Uma ligeira redução da viscosidade da polpa marrom é explicada pela maior degradação de carboidratos provocada pelos reagentes de cozimento e/ou

condições do cozimento (tempo e temperatura). Também, nesse caso, muito provavelmente, devido a maior preservação das hemiceluloses (maior teor de holocelulose), carboidratos de menor peso molecular.

Em seu trabalho, Trugilho et al. (2004) avaliaram as características da madeira em 15 clones de *Eucalyptus* bem como seus desempenhos nos processos de produção de polpa Kraft e encontrou clones com essa baixa relação entre as propriedades. Os clones 7 e 9 apresentaram os maiores teores de holocelulose 82,0% e 80,9% e menores viscosidades 35,1 cP e 37,5 cP, respectivamente.

O rendimento da polpa marrom teve uma leve tendência de decréscimo à medida que o teor de lignina da madeira aumentou, conforme Figura 4A. Importante perceber que a maioria das madeiras de eucalipto selecionadas apresentaram teor de lignina total entre 26,4 e 30,9%, quando o rendimento se aproximou de 54,7-56,7%, o que indica que clones atuais com teores acima de 30% podem ser considerados menos indicados e materiais com teores abaixo de 30% superiores em qualidade para produção de polpa celulósica. Tendo em vista que o objetivo da polpação é a remoção seletiva da lignina, as madeiras com baixo teor de lignina propiciam melhor rendimento em polpa marrom, desde que o cozimento seja bem conduzido.

Cardoso et al. (2002) realizaram a otimização do cozimento Kraft de madeiras de *Eucalyptus globulus*, subespécie *globulus*, aos oito anos, com dois níveis de lignina, alto (23,0%) e baixo (20,5%). Para atingir um número kappa 18, as polpas obtidas da madeira com baixo teor de lignina apresentaram rendimento depurado de 53,4% e viscosidade intrínseca de 1181 cm³/g. Já para madeiras com alto teor de lignina, a deslignificação resultou em rendimento depurado de 51,6% e viscosidade de 1131 cm³/g. As madeiras com baixo teor de lignina necessitaram menor quantidade de álcali ativo para deslignificar (17,6% como NaOH), em relação às madeiras com alto teor de lignina (19,0%), para um mesmo número kappa.

Perez (2002), em seu estudo com exemplares de *Eucalyptus. globulus* procedentes de diferentes regiões da Austrália, concluiu que as árvores que tiveram os maiores valores de rendimento depurado foram as que possuíam os menores teores de lignina total na composição química da sua madeira.

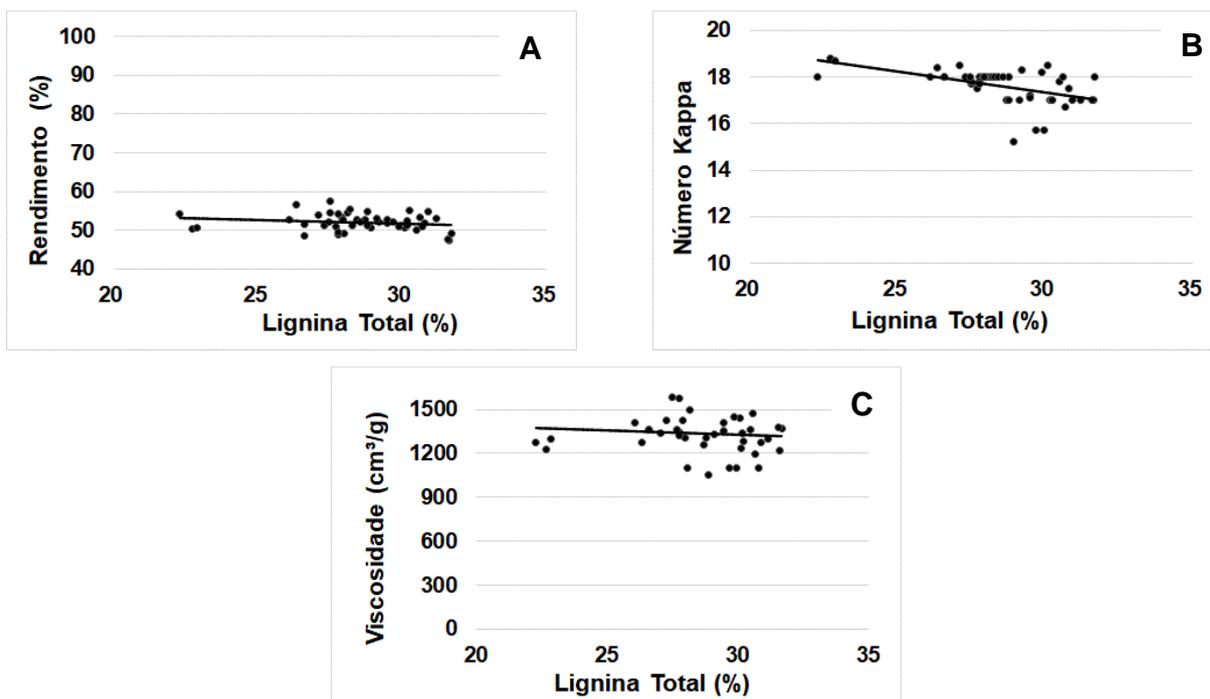


Figura 4 - Relação do teor de lignina total da madeira de eucalipto com o rendimento em polpa marrom (A); número kappa da polpa marrom (B) e viscosidade da polpa marrom (C).

O número kappa teve uma tendência de decréscimo à medida que o teor de lignina total da madeira aumentou, e variou de 17 a 18 para os melhores materiais na pesquisa, para uma variação de lignina total de 25-30%, conforme Figura 4B. Isso pode ser explicado devido a madeiras com alto teor de lignina requererem condições mais severas de polpação e acabar apresentando número kappa final mais baixo, uma forma também de facilitar as etapas posteriores de remoção da lignina residual, o branqueamento, que é um processo caro e gerador de efluentes. Santos (2000) explica que, madeiras com maiores teores de lignina podem exigir um maior consumo de álcali durante a polpação e, conseqüentemente, a redução do número kappa.

A viscosidade da polpa apresentou uma tendência de se manter constante à medida que o teor de lignina total da madeira aumentou, conforme Figura 4C. Importante perceber, que esses materiais selecionados apresentaram viscosidade variando entre 1055 e 1577, para uma variação no teor de lignina na ordem de 22,3 a 31,7%.

O rendimento da polpa teve uma tendência de decréscimo à medida que o teor de extrativos da madeira aumentou, conforme Figura 5A. O teor de extrativos dos materiais apresentados nos trabalhos selecionados variou entre 2,1 e 8,8%, indicando que materiais com teor de extrativos próximos a 2-3% são considerados

de melhor qualidade e aqueles com teor de extrativos na faixa de 5-8% são considerados de menor qualidade. Madeiras com maior teor de extrativos consomem mais reagente e rendem menos polpa no processo de polpação.

Isso ocorre devido os extrativos causarem redução da alvura das polpas branqueadas e ser importante a sua prévia remoção dos processos de cozimento e branqueamento. Wehr (1991), em estudo com 4 lotes diferentes de *Eucalyptus grandis* verificou que madeiras com baixo teor de extrativos conduziram a um aumento no rendimento. Duarte (2007), durante a avaliação das madeiras de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para produção de polpa celulósica Kraft, obteve menor rendimento depurado devido ao alto teor de extrativos presentes na madeira, o que ocasionou maior adição de álcali ativo e conseqüentemente maior degradação dos carboidratos, o que interferiu de forma negativa na viscosidade da polpa.

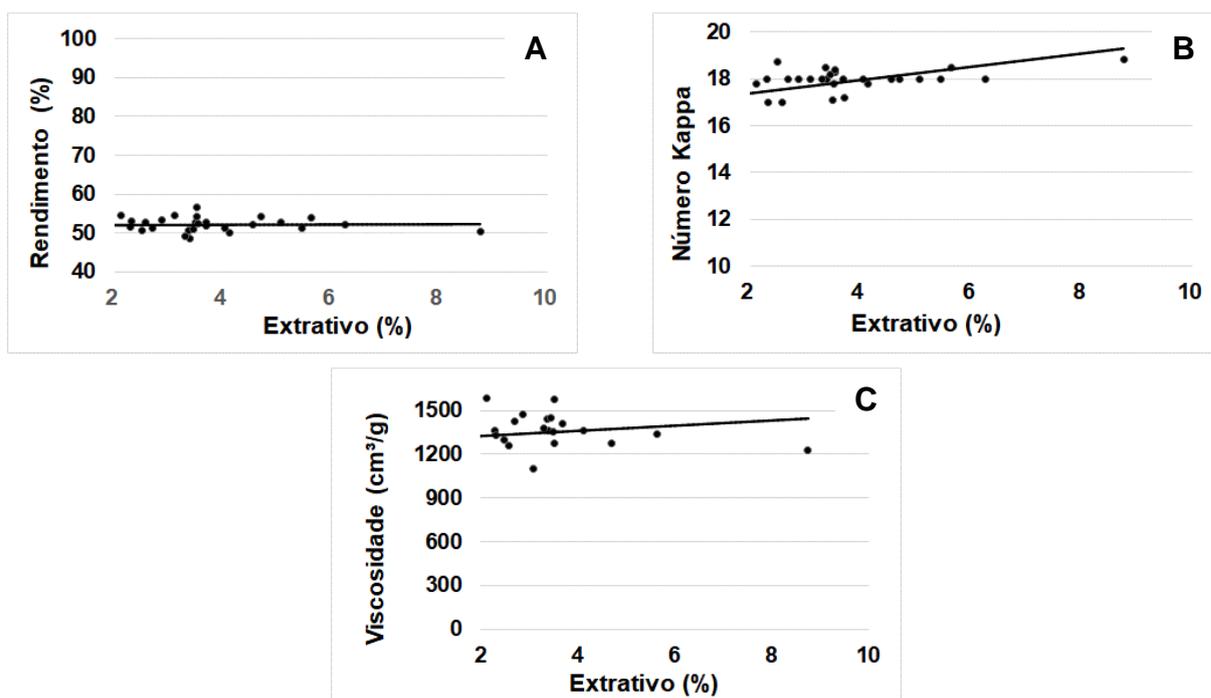


Figura 5 - Relação do teor de extrativo da madeira de Eucalipto com o rendimento em polpa marrom (A); número kappa da polpa marrom (B) e viscosidade da polpa marrom (C).

O número kappa da polpa aumentou à medida que o teor de extrativos da madeira se elevou, de acordo com a Figura 5B. O teor de extrativos observado variou de 2,1-8,8%, para uma variação de número kappa 17-18. O número kappa da polpa marrom não expressa somente a lignina residual após o cozimento, e sim, extrativos e ácidos hexenurônicos que constituem a polpa após o cozimento.

Quanto maior o teor de extrativos da madeira, maiores as chances de extrativos na polpa marrom.

A viscosidade da polpa apresentou uma leve tendência de aumento à medida que o teor de extrativos da madeira aumentou, conforme Figura 5C. A variação da viscosidade foi de 1099 a 1577 cm^3/g para uma variação do teor de extrativos de 2,1-4,1%. Almeida et al. (2001) salientaram que o teor de extrativos presentes na madeira influencia diretamente no maior consumo de álcali. Logo, uma maior exigência da quantidade de álcali implica numa maior degradação dos carboidratos, que pode causar queda da viscosidade.

O rendimento da polpa marrom apresentou uma leve tendência de decréscimo à medida que a relação S/G da lignina da madeira aumentou, conforme Figura 6A. A relação S/G da lignina dos clones dos trabalhos selecionados variou entre 2 e 3,3 para uma variação de rendimento entre 47,3-49,3%. Isso sugere que os melhores clones em uso têm relação S/G em torno de 3, enquanto aqueles mais próximos de 2 seriam considerados de menor qualidade.

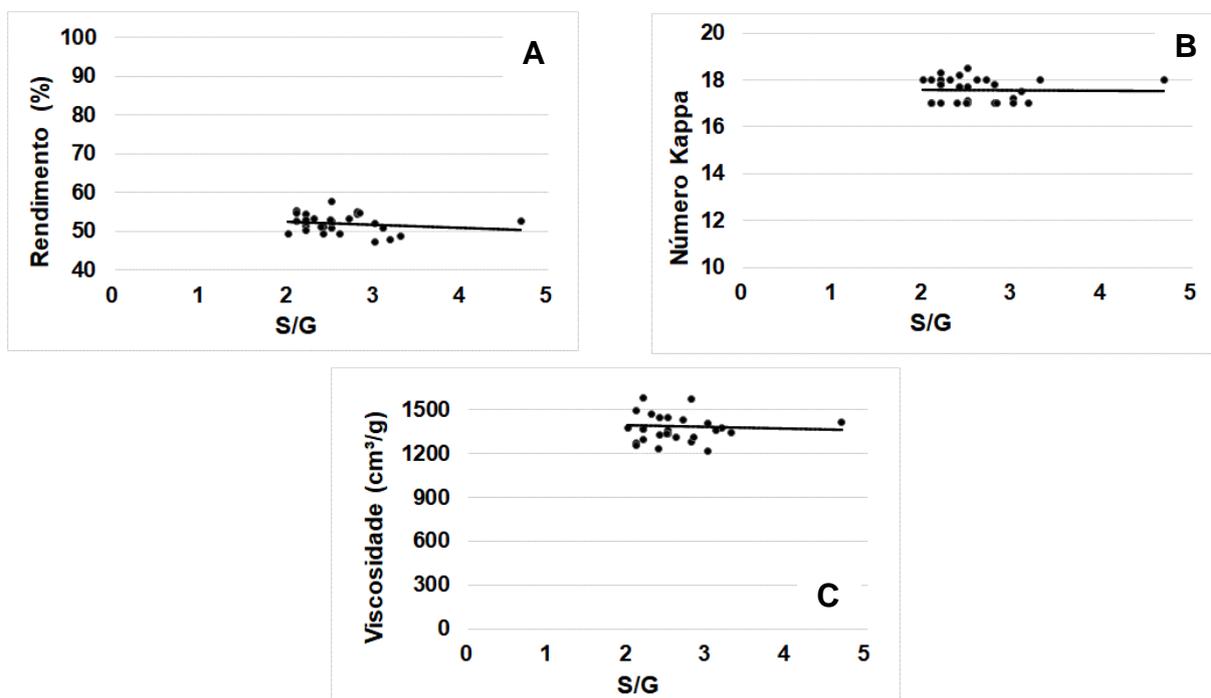


Figura 6 - Relação S/G da madeira de eucalipto com o rendimento em polpa marrom (A); número kappa da polpa marrom (B) e viscosidade da polpa marrom (C).

O número kappa da polpa se manteve constante à medida que a relação S/G da lignina da madeira aumentou, de acordo Figura 6B. A relação S/G da lignina variou de 2,0-4,7, para uma variação de número kappa 17-18.

A viscosidade da polpa marrom teve uma tendência de se manter constante à medida que a relação S/G da lignina da madeira aumentou (Figura 6C). A variação da viscosidade foi de 1217 a 1582 cm³/g, ficando a maioria dos valores encontrados no intervalo entre 1260 e 1407 cm³/g para uma variação de relação S/G da lignina de 2,1-3,0.

O rendimento da polpa marrom de pinus ficou em torno de 50%, conforme o encontrado para madeiras de eucalipto. Entretanto, o teor de holocelulose variou entre 67,2 e 70,3%, uma variação muito menor do que a observada para madeira de eucalipto, em parte explicada pela menor quantidade de estudos com essa madeira.

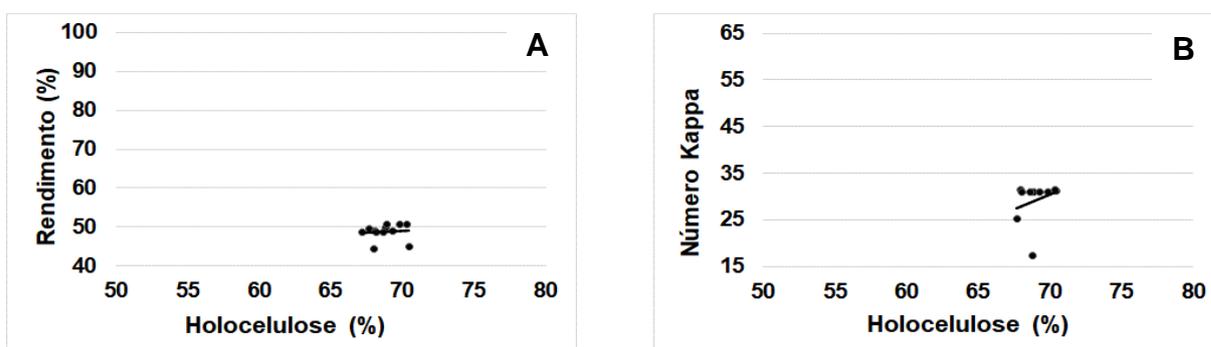


Figura 7 - Relação do teor de holocelulose da madeira de Pinus com o rendimento de da polpa marrom (A) e número kappa da polpa marrom (B).

O número kappa das polpas de pinus ficou praticamente fixo na faixa de 30-32, bastante diferente do valor observado para madeiras de eucalipto, entre 17-18 (Figura 7B). Em comparação com as madeiras de eucalipto, o teor de lignina e de extrativos nas madeiras de pinus foi, de modo geral, maior, e o tipo de lignina menos reativa (lignina G). Isso explica os cozimentos serem realizados a número kappa maior (maior teor de lignina residual, extrativos), mesmo em materiais com um teor de holocelulose próximo de 70%.

Por fim, sobre a viscosidade das polpas marrons de pinus, quase não se teve informação nos trabalhos, que apresentaram valores em torno de 1000 cm³/g. Apesar dos elementos estruturais das madeiras de pinus serem compostos de traqueídes, mais compridos quando comparadas às fibras de eucalipto (mais curtas). Mesmo mais longa, a maior dificuldade para o cozimento dessa madeira demonstrou uma menor viscosidade final das polpas produzidas.

O rendimento da polpa teve uma leve tendência de aumento à medida que o teor de lignina da madeira diminuiu, comportamento contrário ao observado com as madeiras de eucalipto, conforme Figura 8A. Importante perceber que o a maioria das

madeiras de pinus selecionadas apresentam teor de lignina total entre 25,6 e 29,7%, enquanto o rendimento variou entre 44,2-50,7%.

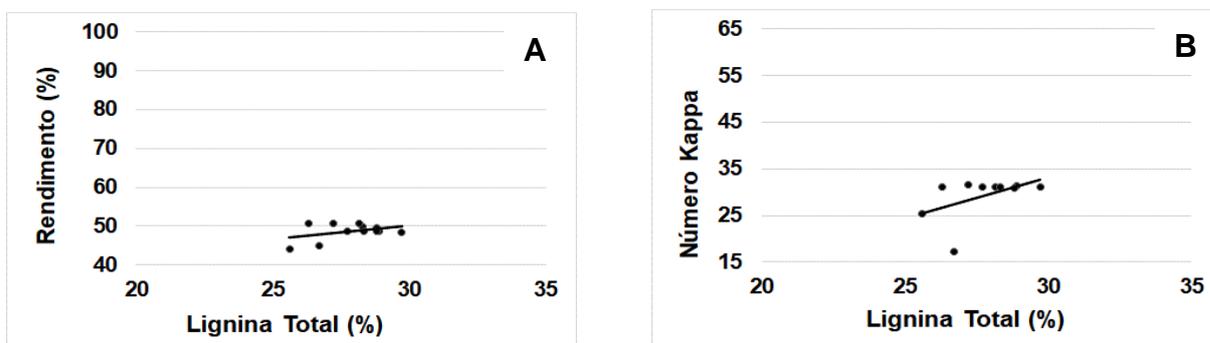


Figura 8: Relação da lignina total da madeira de Pinus com o rendimento em polpa marrom (A); e número kappa da polpa marrom (B).

O número kappa teve uma tendência de aumento à medida que o teor de lignina total da madeira aumentou (Figura 8B). O teor de lignina total da madeira de pinus para a maioria dos materiais selecionados ficou numa faixa entre 25,6 e 29,7% para uma variação de kappa entre 31-31,5. O número kappa objetivo foi superior ao observado nas madeiras de eucalipto, justamente para não comprometer de forma significativa o rendimento do processo e a viscosidade da polpa marrom. Praticamente não foram apresentados dados de viscosidade das polpas marrons de pinus.

O rendimento da polpa teve uma tendência de decréscimo à medida que o teor de extrativos da madeira aumentou (Figura 9A). Com relação às informações obtidas com a madeira de pinus, o teor de extrativos variou entre 2,8-6,4% para uma variação entre 44,9-49,9%, indicando que os materiais com teor de extrativos menores que 3% são considerados de melhor qualidade.

De acordo com Segura (2012), um alto teor de extrativos é considerado indesejável no processo de polpação pois afeta negativamente o rendimento em polpa marrom e o consumo de reagentes. Foram poucos os trabalhos que realizaram a análise do teor de extrativos da madeira e viscosidade das polpas de pinus, e por isso não foi possível a apresentação desses gráficos.

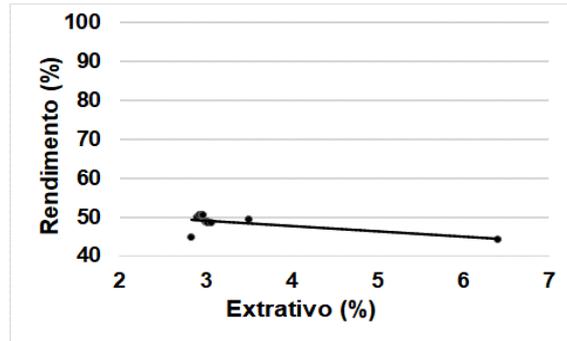


Figura 9: Relação do teor de extrativo da madeira de pinus com o rendimento em polpa marrom.

4.3 Estudo dos parâmetros do processo de polpação na qualidade da polpa marrom

As informações das madeiras de eucalipto dos materiais científicos escolhidos para comparação dos parâmetros do processo de polpação apresentaram tempos de cozimento de 140, 150 e 235 minutos, sulfidez fixada de 30% e álcali ativo de 17%, 19,6% e 21%. A partir desses dados foi possível observar que o rendimento do cozimento foi maior quando utilizadas as condições extremas, ou seja, menor tempo total de cozimento (140 min) associado a menor carga de álcali ativo (17%) e maior tempo total de cozimento (235 minutos) associado com a maior carga de álcali (21%), conforme Figura 10A.

Isso demonstra que mesmo madeiras mais difíceis de serem cozidas quanto madeiras mais fáceis podem apresentar bons rendimentos desde que observadas essas condições previamente aos cozimentos. Por outro lado, o rendimento foi menor quando combinadas tempo total de cozimento e carga alcalina intermediárias (150 minutos e 19,6%).

O número kappa foi praticamente fixo para todas as combinações de tempo e temperatura avaliados. Variando entre 17-18,7. No entanto, foi observado menor número kappa (17) quando combinados o menor tempo de cozimento e a menor carga alcalina (140 minutos e 17%), conforme Figura 10B.

Isso aconteceu, pois, madeiras que exigem condições mais severas de cozimento, de modo a não prejudicar muito o rendimento, apresentam número kappa levemente superior, o que auxilia também na viscosidade da polpa marrom. Por outro lado, as polpas mais fáceis de serem cozidas apresentaram menor carga de álcali e menor tempo de cozimento, e conseqüentemente permitiram ser cozidas

a menores números kappa, mas acabaram também apresentando menor viscosidade por esse maior nível de deslignificação.

Foi possível perceber e confirmar que a viscosidade da polpa marrom foi maior quando utilizada a condição de tempo total médio (150 minutos) e álcali ativo médio (19,6%) ou a condição de maior tempo total (235 minutos) e maior carga de álcali (21%), um reflexo da polpa de maior número kappa para manter um bom rendimento.

Essa maior viscosidade em condição de maior tempo e carga alcalina pode ter sido influenciada pela maior remoção das hemiceluloses da polpa, uma vez que esses carboidratos são de menor peso molecular e degradados mais rapidamente no processo. Em contrapartida, a viscosidade foi menor quando associada ao menor tempo de cozimento e menor carga alcalina (140 minutos e 17%), conforme Figura 10C.

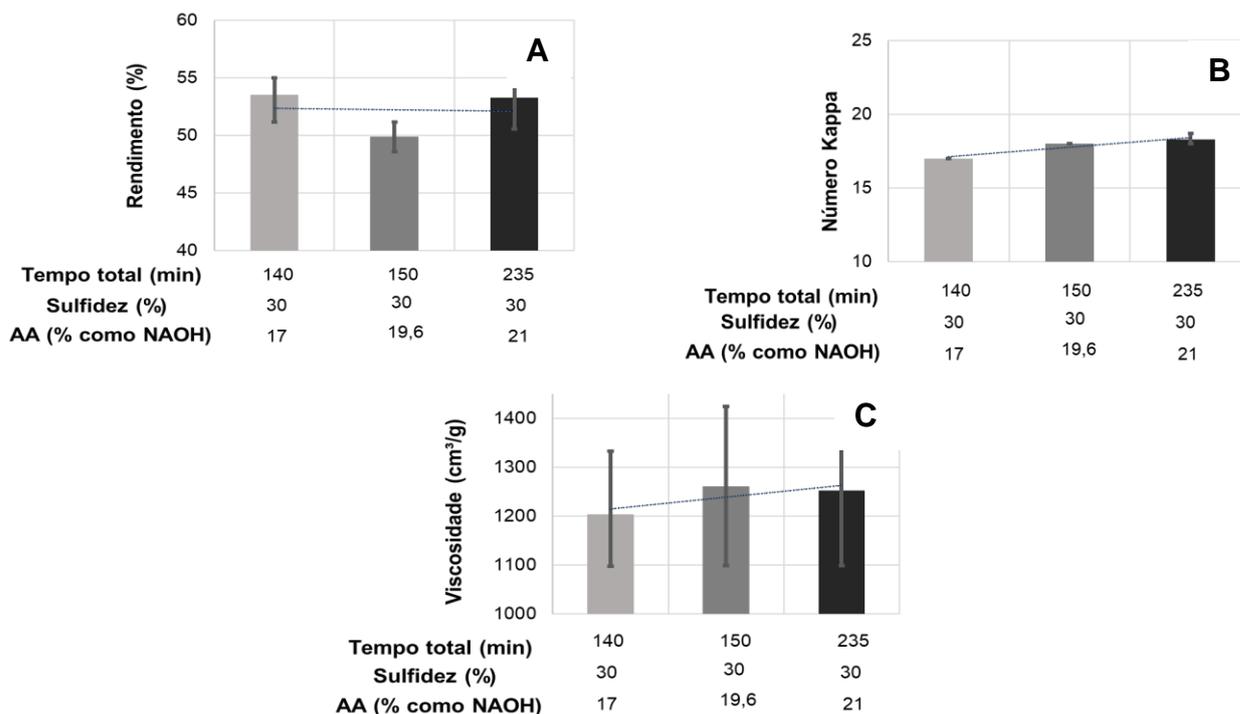


Figura 10: Relação dos parâmetros do processo de polpação com o rendimento em polpa marrom (A); número kappa da polpa marrom e (B) e viscosidade da polpa marrom (C).

Assim, por meio das observações apontadas neste estudo, foi possível inferir que as características da polpa marrom que resultaram numa maior produtividade (rendimento) e qualidade (número kappa e viscosidade) foram obtidas por meio de combinações dos parâmetros do processo de polpação, ou seja, alterando as variáveis tempo total de cozimento, sulfidez e carga alcalina.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que:

A densidade básica foi a característica da madeira mais apresentada pelos trabalhos científicos, por apresentar boa correlação com o rendimento do processo;

O teor de extrativos e relação S/G da lignina foram pouco usados nas pesquisas;

Maior escassez de estudos usando a madeira de Pinus em relação ao Eucalipto;

A sulfidez do processo foi uma variável praticamente fixa (30%), enquanto o tempo total e a carga alcalina variaram de acordo com a qualidade da madeira.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, G. S. B. **Estudo da qualidade da madeira para produção de celulose relacionada à precocidade na seleção de híbrido *E. grandis* x *E. urophylla***. Piracicaba, 2002. 145p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.

ALMEIDA, J.M. e SILVA, D.J. Efeito da quantidade de extrativos e da acessibilidade do licor na polpação Kraft de clones de *Eucalyptus*. In: 34º Congresso Anual de Celulose e Papel. 22- 25 out.2001. São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ABTCP, 2001.

ALVES, I. C. N. **Potential of *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage wood for kraft pulp production**. 2010. 76 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal; Meio Ambiente e Conservação da Natureza; Silvicultura; Tecnologia e Utilização de) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

BAPTISTA, R. O. **Potencial da madeira de *Pinus maximinoi* aos sete anos para produção de polpa celulósica kraft**. 2019. 68p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

BARBOSA, L. C. A.; MALTHA, C. R. A.; SILVA, V. L.; COLODETTE, J. L. Determinação da relação Siringila/Guaiacila da lignina em madeiras de eucalipto por pirólise acoplada à cromatografia gasosa e espectrometria de massas (PI-CG/EM). **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 8, p. 2035- 2041. 2008.

BARRICHELO, L. E. G. Métodos de determinação da densidade básica da madeira em cavacos. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 3, n. 9, p. 12-4, 1975.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria prima para a indústria de celulose e papel. Brasília/DF, PRODEPEF, Série de Divulgação nº13, p. 145, 1976.

BASSA, A. **Processo de polpação Kraft convencional e modificada com madeiras de *E. grandis* e Híbrido (*E. grandis* x *E. urophylla*)**. 2002. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BRASILEIRO, L.B.; COLODETTE J.L. A utilização de peróxidos na deslignificação e no branqueamento de polpa celulósica. **Química Nova**, Viçosa, v. 24, n. 6, p. 819-829, 2001.

CARDOSO, G. V. Efeito do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus globulus* Labill. no desempenho da polpação kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 133-147, 2011.

CARDOSO, G. V. **Otimização do cozimento kraft para produção de celulose a partir de madeiras de *Eucalyptus globulus* com diferentes teores de lignina**. 2002. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

CARVALHO, A. M.; NAHUZ, M. A. R. Interferência na qualidade e rendimento de polpa celulósica de eucalipto devido ao uso múltiplo da madeira. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 242-256, jul./dez. 2004

COÊLHO, Marina Ulian. **Avaliação tecnológica da madeira de *Pinus maximinoi* visando sua utilização industrial na produção de celulose kraft**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

COÊLHO, Marina Ulian. **Avaliação tecnológica da madeira de *Pinus maximinoi* visando sua utilização industrial na produção de celulose kraft**. 2017. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. doi:10.11606/D.11.2017.tde-09102017-174308.

COLODETTE, J. L.; GOMES, V. J. Branqueamento de polpas químicas para papel: estágio ácido para remoção de ácidos hexenurônicos. In: COLODETTE, J. L.; GOMES, F. J. B. (ed.). **Branqueamento de polpa celulósica: da produção da polpa marrom ao produto acabado**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2015. seq. V, cap. 2, p. 313-352.

COSTA, M.M.; MOUNTEER, A.H; COLODETTE, J.L. Ácidos Hexenurônicos Parte I: Origem, Quantificação, reatividade e comportamento durante a polpação kraft. **O Papel**, v. 62 n. 5 p. 75-85. 2001a.

DANIEL, A. I. D.et al. Hexenuronic acid contents of *Eucalyptus globulus* kraft pulps: variation with pulping condition and effect on ECF bleachability. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 2, n. 5, p. 3-8, 2003.

DEMUNER, W. P. **Predição do impacto da madeira em fábrica Kraft de eucalipto**. 2011. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.

DUARTE, F. A. S. **Avaliação da madeira de *Betula pendula*, *Eucalyptus globulus* e de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* destinadas à produção de polpa celulósica Kraft**. 2007. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

DUEÑAS, R.S. **Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel**. Guadalajara. Universidad de Guadalajara. ed.1, 293p. 1997.

FERREIRA, C.R.S. **Otimização do perfil de temperatura na polpação RDH de *Eucalyptus sp.*** 2000. 79 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

FOELKEL, C. E. B. Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTO, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: IUFRO, 1997. v. 1. p. 1.

FOELKEL, C.E.B. Propriedades das árvores, madeiras e fibras celulósicas dos eucaliptos 2009. 111 p. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**.

FORSSTROM, A., BASTA, J., BLOM, C. (2006). Kappa ótimo de cozimento o – uma ferramenta versátil para a melhoria do desempenho financeiro de uma planta de celulose de eucaliptos. **O Papel**, (06) 96-100.

FREITAS, T. P. **Avaliação do crescimento e da qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em dois ambientes para produção de celulose**. 2015. 73p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2015.

GOMES, F. A. **Avaliação dos processos Kraft convencional e Lo-Solids para madeira de *Pinus taeda***. 2009. 99f. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, 2009.

GOMES, F.J.B.; GOUVÊA, A.F.G.; COLODETTE, J.L.; GOMIDE, J.L.; CARVALHO, A.M.M.L.; TRUGILHO, P.F.; GOMES, C.M.; ROSADO, A.M. Influência do teor e da relação S/G da lignina da madeira no desempenho da polpação Kraft. **O Papel**, São Paulo, v.69, n.12, p.95-105, 2008.

GOMES, I. M. B. **Segmento brasileiro de polpa celulósica: evolução, competitividade e inovação**. 2011. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

GOMES, R. M. **Impacto da sulfidez em processos kraft de polpação**. 2019. 72p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2019.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.1, p.129-137, 2005.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; LEITE, H. G. Estratégia de análise da qualidade de madeira de *Eucalyptus sp.* para produção de celulose. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 443–450, 2004.

GOMIDE, J.L. **Tecnologia e Química da Produção de Celulose**. Viçosa-MG. Laboratório de Celulose e Papel, Universidade Federal de Viçosa. 2006. 235p.

GOUVÊA, A. F. G. et al. Avaliação da madeira e da polpação Kraft em clones de *Eucaliptos*. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.6, p.1175-1185, 2009.

IBÁ – Indústria Brasileira de produtores de Árvores. Relatório IBÁ 2022 ano base 2021. Brasília: 2022. 96 p.

JIANG, Z.; VAN LIEROP, B. V.; BERRY, R. Hexenuronic acid groups in pulping and bleaching chemistry. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 83, n. 1, p. 167-175, 2000.

KOLLMANN, F.F.P. **Tecnologia de la madera y sus aplicaciones**. Madrid. Tomo I. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 647p. 1959.

KRAMARSKI, S. **Complexação de quelantes para metais de transição em branqueamento de celulose com Peróxido de hidrogênio**. 2004 76p. Dissertação

(Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

LOMBARDO, C.; PADILLA, A. **Manual teórico prático de conversión química de La madera y química ambiental**. Mérida: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, 1998. 55p.

MARTINO, D. C. **Estudo de branqueabilidade e da qualidade de polpas de *Eucalyptus spp.* de diferentes origens**. 2011. 56p. Dissertação (Mestrado Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

MEDEIROS NETO, H. F. **Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft**. 2012. 119p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

MOKFIENSKI, A. et al. A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento de polpa e na qualidade do produto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 407-419, jul.-set., 2008

MOKFIENSKI, A. **Importância relativa da densidade básica e da constituição química da madeira de *Eucalyptus spp.* no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa kraft**. 2004. 136p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

MORAIS, P. H. D. **Efeito da idade da madeira de eucalipto na sua química e polpabilidade, e branqueabilidade e propriedades físicas da polpa**. 2008. 65p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

MOSCA, Y. **Avaliação da qualidade da madeira de três clones de *Eucalyptus*, aos cinco anos de idade**. 2010. 30p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

PEREZ, J. F. R. **Avaliação de procedências de *Eucalyptus globulus* segundo a qualidade de sua madeira para a produção de celulose**. 2002. 128 128 93f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) -Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

QUEIROZ, S. C. S. **Efeito das características anatômicas e químicas na densidade básica da madeira e na qualidade da polpa de clones híbridos de *Eucalyptus grandis x urophylla***. 2002. 74p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

QUEIROZ, S. C. S. et al. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.28, n. 6, p. 901-909, nov./dez. 2004.

Revista Ferroviária. 2022. Disponível em: <<https://revistaferroviaria.com.br/2022/09/conheca-os-maiores-projetos-do-setor-de-celulose-que-estao-saindo-do-papel/>>. Acesso em: 8 jun. 2023.

SANTOS, C. R. **Métodos não-convencionais para determinação de celulose como parâmetro de seleção de árvores matrizes visando a produção de polpa Kraft-AQ.** Piracicaba, 2000. 117p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SANTOS, D. R. S. **Avaliação tecnológica de clones-elite de *Eucalyptus spp.*, crescendo no Estado de Goiás: qualidade do lenho para produção de polpa celulósica Kraft.** 2018. 165p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2018.

SEGURA, E. S. S. **Avaliação das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana* e seus híbridos visando à produção de celulose kraft branqueada.** 2015. 198p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.

SEGURA, E. S. S. **Avaliação das madeiras de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Acacia mearnsii* para produção de celulose kraft pelos processos convencional e Lo-Solids.** 2012. 99p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

SILVA JÚNIOR F.G. **Efeito do ritmo de produção sobre a eficiência de processos modificados de polpação para *Eucalyptus grandis* e *Populus tremuloides*.** 2005. 144 p. Tese (Livre Docência). Departamento de Ciências Florestais Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

TRUGILHO, P. F.; BIANCHI, M. L.; GOMIDE, J. L.; SCHUCHARDT, U. Classificação de clones de *Eucalyptus sp* visando à produção de polpa celulósica. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 895–899, dez. 2004.

VIDRANO, B. R. A. **Produção de celulose Kraft e papel de madeiras de *Pinus taeda* L. e *Pinus patula* Schltl & Cham.** 2019. Dissertação (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

VIVIAN, M. A. Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para produção de polpa celulósica kraft. **Scientia Forestalis.**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 183-191, mar. 2015

VIVIAN, M. A.; MODES, K. S.; CAETANO, A. P. Potencial da madeira de *Pinus glabra* para produção de polpa celulósica. **Madera y bosques**, v. 26, n. 3, 16 dez. 2020.

WALLIS, A. F. A.; WEARNE, R. H.; WRIGHT, P. J. Chemical analysis of polysaccharides in plantation eucalypt wood and pulps. **Appita J.**, v. 49, n. 4, p. 258-262, 1996a.

WEHR, T. F. A. **Variações nas características da madeira de *E. grandis* Hill ex maiden e suas influências na qualidade de cavacos em cozimento Kraft.** Piracicaba, 1991. 84p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

WEHR, T. R.; BARRICHELLO, L. E. G. Cozimentos kraft com madeira de *Eucalyptus grandis* de diferentes densidades básicas e dimensões de cavacos. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 25., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP. 1992. p. 161-177.

ANEXO I

A - Planilha de dados do gênero *Eucalyptus* contendo espécies/clones, idade, espaçamento e local a partir do material bibliográfico selecionado

Material	Classes de Madeira	Idade	Espaçamento	Local de origem	Referências Bibliográficas
Espécie ou Clone		anos	m	cidade/estado/país	
<i>Corymbia torelliana</i>	<i>Eucalypto</i>	15	3x2	Preservar	Segura et al., 2015
<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	<i>Eucalypto</i>	7	3x2	Aperam	Segura et al., 2015
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	6	3x2	Eldorado Brasil	Segura et al., 2015
<i>Corymbia citriodora</i>	<i>Eucalypto</i>	8	3x2	Eldorado Brasil	Segura et al., 2015
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	6	ni	Vale do Paraíba - SP	Segura, 2012
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	6	3,5x2,5	Vale do Paraíba - SP	Queiroz, 2002
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	6	3,5x2,5	Vale do Paraíba - SP	Queiroz, 2002
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	5	ni	Sabinópolis - MG	Morais, 2008
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	7	ni	Virginópolis - MG	Morais, 2008
<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalypto</i>	6	ni	Virginópolis - MG	Morais, 2008
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	8	ni	Sabinópolis - MG	Morais, 2008
<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalypto</i>	5	ni	Sabinópolis - MG	Morais, 2008
<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalypto</i>	7	ni	Virginópolis - MG	Morais, 2008
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	4	3x3	Luziânia - GO	Santos, 2018
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	3	3x3,3	MG - Brasil	Gouvêa et al., 2009
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	3	3x3,3	MG - Brasil	Gouvêa et al., 2009
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	3	3x3,3	MG - Brasil	Gouvêa et al., 2009
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	4	3x3	Luziânia - GO	Santos, 2018
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	ni	ni	ni	Gomide et al., 2005
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	ni	ni	ni	Gomide et al., 2005
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	ni	ni	ni	Gomide et al., 2005
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	ni	ni	ni	Gomide et al., 2005
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	ni	ni	ni	Gomide et al., 2005
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	ni	ni	ni	Gomide et al., 2005
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	1	ni	Sabinópolis - MG	Morais, 2008
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	3	ni	Sabinópolis - MG	Morais, 2008
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	5	ni	Lençóis Paulista – SP	Mosca, 2010
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	5	ni	Lençóis Paulista – SP	Mosca, 2010
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	ni	ni	ni	Gomide et al., 2005
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	ni	ni	ni	Gomide et al., 2005
<i>E. pellita</i> x <i>E. grandis</i>	<i>Eucalypto</i>	4	3x3	Luziânia - GO	Santos, 2018
<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. tereticornis</i>	<i>Eucalypto</i>	4	3x3	Luziânia - GO	Santos, 2018
<i>E. grandis</i> x (<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i>)	<i>Eucalypto</i>	4	3x3	Luziânia - GO	Santos, 2018
<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Eucalypto</i>	11	2,5x2,5	Chile	Mokfienski, 2004
<i>Eucalyptus nitens</i>	<i>Eucalypto</i>	10	2,5x2,5	Chile	Mokfienski, 2004
<i>Eucalyptus spp.</i>	<i>Eucalypto</i>	ni	ni	ni	Martino, 2011
<i>Eucalyptus spp.</i>	<i>Eucalypto</i>	ni	ni	ni	Martino, 2011
<i>Eucalyptus spp.</i>	<i>Eucalypto</i>	ni	ni	ni	Gomes, 2019
<i>Eucalyptus urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	8	3x3	SP - Brasil	Mokfienski, 2004
<i>Eucalyptus urophylla</i>	<i>Eucalypto</i>	4	3x3	Luziânia - GO	Santos, 2018
<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalypto</i>	1	ni	Sabinópolis - MG	Morais, 2008
<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalypto</i>	3	ni	Sabinópolis - MG	Morais, 2008
<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalypto</i>	5	ni	Lençóis Paulista – SP	Mosca, 2010
<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalypto</i>	3	3x3,3	MG - Brasil	Gouvêa et al., 2009
<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalypto</i>	3	3x3,3	MG - Brasil	Gouvêa et al., 2009
<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalypto</i>	ni	ni	ni	Gomide et al., 2005
<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalypto</i>	4,8	3x2	SP - Brasil	Mokfienski, 2004
<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalypto</i>	ni	ni	ni	Gomide et al., 2005

ni = não informado

B - Planilha de dados do gênero *Eucalyptus* contendo as características da madeira (densidade e composição química), as variáveis do processo de polpação (tempo total de cozimento, álcali ativo, sulfidez), as características da polpa (rendimento, número kappa e viscosidade) e as referências bibliográficas (autor/data)

Material	DB (kg/m³)	Composição Química						Condições			Rendimento (%)	Número Kappa	Viscosidade (cm³/g)	Referências Bibliográficas
		C (%)	H (%)	C+H (%)	TL (%)	SG	E (%)	TT (min)	CA (% como NaOH)	S (%)				
Espécie ou Clone	madeira	madeira						cozimento			polpa			
<i>Corymbia torelliana</i>	597	ni	ni	68,6	22,7	ni	8,8	235	22,5	32	50,5	18,8	1230	Segura et al., 2015
<i>C. citriodora x C. torelliana</i>	533	ni	ni	74,6	22,9	ni	2,5	235	22	32	50,6	18,7	1296	Segura et al., 2015
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	276	ni	ni	67,3	27,1	ni	5,6	235	20	32	54,0	18,5	1341	Segura et al., 2015
<i>Corymbia citriodora</i>	668	ni	ni	73,1	22,3	ni	4,7	235	19	32	54,1	18,0	1273	Segura et al., 2015
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	469	ni	ni	68,8	28,1	ni	3,1	235	18,2	30	54,5	18,0	1099	Segura, 2012
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	477	ni	ni	53,3	27,3	ni	2,7	150	17,7	30	51,2	18,0	1424	Queiroz, 2002
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	552	ni	ni	55,9	26,6	ni	3,4	150	19,6	30	48,6	18,0	1099	Queiroz, 2002
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	475	45,8	19,7	65,5	30,3	2,8	1,2	140	17	30	55,0	17,0	1284	Morais, 2008
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	505	46,7	18,1	64,8	28,8	2,8	2,0	140	17	30	54,7	17,0	1310	Morais, 2008
<i>Eucalyptus grandis</i>	475	46,4	20,1	66,4	30,2	2,4	1,4	140	17	30	51,2	17,0	1098	Morais, 2008
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	515	45,7	18,4	64,0	29,1	2,5	2,3	140	17	30	53,1	17,0	1333	Morais, 2008
<i>Eucalyptus grandis</i>	432	46,4	18,9	65,3	30,9	2,1	0,8	140	17	30	54,7	17,0	1098	Morais, 2008
<i>Eucalyptus grandis</i>	490	44,8	20,6	65,4	28,7	2,1	2,6	140	18	30	52,7	17,0	1100	Morais, 2008
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	490	ni	ni	66,5	28,6	ni	4,6	150	22	25	52,2	18,0	ni	Santos, 2018
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	434	44,2	25,4	69,6	29,7	ni	0,7	150	17	25	52,3	15,7	1100	Gouvêa et al., 2009
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	453	46,0	24,4	70,3	28,9	ni	0,8	150	17	25	50,8	15,2	1056	Gouvêa et al., 2009
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	430	43,7	25,5	69,2	30,0	ni	0,9	150	17	25	51,2	15,7	1100	Gouvêa et al., 2009
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	460	ni	ni	66,9	28,8	ni	4,0	150	22	25	51,3	18,0	ni	Santos, 2018
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	510	ni	ni	64,9	30,5	2,2	4,1	150	18	25	50,2	17,8	1365	Gomide et al, 2005
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	465	ni	ni	70,2	27,5	2,5	1,8	150	18	25	57,6	17,7	1690	Gomide et al, 2005
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	482	ni	ni	66,0	30,6	2,3	2,9	150	18	25	53,4	18,0	1470	Gomide et al, 2005
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	472	ni	ni	69,3	28,2	2,1	2,0	150	18	25	55,4	18,0	1495	Gomide et al, 2005
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	505	ni	ni	69,9	27,5	2,2	2,1	150	18	25	54,5	17,8	1583	Gomide et al, 2005
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	503	ni	ni	66,8	29,2	2,2	3,5	150	18	25	52,3	18,3	1615	Gomide et al, 2005

DB = Densidade básica; C = Teor de Celulose; H = Teor de Hemicelulose; C+H = Teor de Holocelulose; TL = Teor de Lignina; SG = Relação Siringila/Guaiacila da Lignina; E = Teor de Extrativos; TT= Tempo Total de cozimento; CA= Carga Alcalina; S = Sulfidez.

(continuação...)

Material	DB (kg/m³)	Composição Química						Condições			Rendimento (%)	Número Kappa	Viscosidade (cm³/g)	Referências Bibliográficas
		C (%)	H (%)	C+H (%)	TL (%)	SG	E (%)	TT (min)	CA (% como NaOH)	S (%)				
Espécie ou Clone	madeira	madeira						cozimento			polpa			
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	430	38,5	23,6	62,2	31,6	3,2	1,3	140	17	30	47,8	17,0	1376	Morais, 2008
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	445	41,1	22,0	63,0	30,2	2,5	1,2	140	17	30	52,5	17,0	1338	Morais, 2008
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	485	ni	ni	70,6	28,0	2,6	1,9	125	18,8	27,6	49,3	18,0	1310	Mosca, 2010
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	491	ni	ni	71,0	27,8	2,4	1,7	125	19,8	27,6	49,4	17,7	1325	Mosca, 2010
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	490	ni	ni	68,2	27,8	2,8	3,5	150	18	25	54,3	17,8	1578	Gomide et al, 2005
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	501	ni	ni	66,1	29,9	2,4	3,5	150	18	25	51,1	18,2	1446	Gomide et al, 2005
<i>E. pellita x E. grandis</i>	450	ni	ni	65,9	28,3	ni	5,5	150	22	25	51,3	18,0	ni	Santos, 2018
<i>E. camaldulensis x E. tereticornis</i>	470	ni	ni	66,2	28,4	ni	5,1	150	22	25	52,8	18,0	ni	Santos, 2018
<i>E. grandis x (E. urophylla x E. tereticornis)</i>	500	ni	ni	68,0	27,9	ni	3,7	150	22	25	52,7	18,0	ni	Santos, 2018
<i>Eucalyptus globulus</i>	516	ni	ni	73,9	26,1	4,7	1,3	180	16	30	52,6	18,0	1413	Mokfienski, 2004
<i>Eucalyptus nitens</i>	484	ni	ni	72,2	27,8	3,3	1,9	180	18,5	30	48,9	18,0	1348	Mokfienski, 2004
<i>Eucalyptus spp.</i>	480	47,6	21,5	69,1	29,5	3,0	3,7	150	17	25	52,0	17,2	1407	Martino, 2011
<i>Eucalyptus spp.</i>	470	48,1	21,1	69,2	29,5	2,5	3,5	150	17	25	52,7	17,1	1357	Martino, 2011
<i>Eucalyptus spp.</i>	477	ni	ni	70,1	26,4	ni	3,5	150	16,5	30	56,7	18,4	1276	Gomes, 2019
<i>Eucalyptus urophylla</i>	544	ni	ni	73,4	26,6	2,2	2,3	180	16,9	30	51,6	18,0	1365	Mokfienski, 2004
<i>Eucalyptus urophylla</i>	490	ni	ni	66,0	27,5	ni	6,3	150	22	25	52,3	18,0	ni	Santos, 2018
<i>Eucalyptus grandis</i>	420	39,9	24,2	64,1	31,6	3,0	1,0	140	19,5	30	47,3	17,0	1218	Morais, 2008
<i>Eucalyptus grandis</i>	427	43,8	20,5	64,2	31,2	2,2	0,9	140	17	30	53,0	17,0	1299	Morais, 2008
<i>Eucalyptus grandis</i>	446	ni	ni	71,1	27,7	3,1	1,6	125	18,4	27,6	50,9	17,5	1360	Mosca, 2010
<i>Eucalyptus grandis</i>	418	45,5	22,7	68,2	30,8	ni	1,0	150	17	25	51,8	17,5	1098	Gouvêa et al., 2009
<i>Eucalyptus grandis</i>	439	40,2	27,8	68,0	30,7	ni	1,4	150	17	25	51,0	16,7	1100	Gouvêa et al., 2009
<i>Eucalyptus grandis</i>	486	ni	ni	66,0	30,1	2,5	3,4	150	18	25	50,8	18,5	1445	Gomide et al, 2005
<i>Eucalyptus grandis</i>	365	ni	ni	72,1	27,9	2,7	1,6	180	15,3	30	53,2	18,0	1429	Mokfienski, 2004
<i>Eucalyptus grandis</i>	482	ni	ni	64,5	31,7	2,0	3,3	150	18	25	49,3	18,0	1365	Gomide et al, 2005

DB = Densidade básica; C = Teor de Celulose; H = Teor de Hemicelulose; C+H = Teor de Holocelulose; TL = Teor de Lignina; SG = Relação Siringila/Guaiacila da Lignina; E = Teor de Extrativos; TT= Tempo Total de cozimento; CA= Carga Alcalina; S = Sulfidez.

C - Planilha de dados do gênero *Eucalyptus* contendo as características da madeira (densidade e composição química), as variáveis do processo de polpação (tempo total de cozimento, álcali ativo, sulfidez), as características da polpa (rendimento, número kappa e viscosidade) e as referências bibliográficas (autor/data) utilizados para a construção das tabelas comparativas

Material	Classes de Madeira	Idade	Espaçamento	Local de origem	Referências Bibliográficas
Espécie ou Clone		anos	m	cidade/estado/país	
<i>C. citriodora x C. torelliana</i>	<i>Eucalipto</i>	7	3x2	Aperam	Segura et al., 2015
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	<i>Eucalipto</i>	6	3x2	Eldorado Brasil	Segura et al., 2015
<i>Corymbia citriodora</i>	<i>Eucalipto</i>	8	3x2	Eldorado Brasil	Segura et al., 2015
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	<i>Eucalipto</i>	6	ni	Vale do Paraíba - SP	Segura, 2012
Tempo Total = 235 min					
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	<i>Eucalipto</i>	6	3,5x2,5	Vale do Paraíba - SP	Queiroz, 2002
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	<i>Eucalipto</i>	6	3,5x2,5	Vale do Paraíba - SP	Queiroz, 2002
Tempo Total = 150 min					
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	<i>Eucalipto</i>	5	ni	Sabinópolis - MG	Morais, 2008
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	<i>Eucalipto</i>	7	ni	Virginópolis - MG	Morais, 2008
<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalipto</i>	6	ni	Virginópolis - MG	Morais, 2008
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	<i>Eucalipto</i>	8	ni	Sabinópolis - MG	Morais, 2008
<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalipto</i>	5	ni	Sabinópolis - MG	Morais, 2008
<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalipto</i>	7	ni	Virginópolis - MG	Morais, 2008
Tempo Total = 140 min					

ni = não informado

(continuação...)

Material	DB (kg/m³)	Composição Química						Condições			Rendimento (%)	Número Kappa	Viscosidade (cm³/g)	Referências Bibliográficas
		C (%)	H (%)	C+H (%)	TL (%)	SG	E (%)	TT (min)	CA (% como NaOH)	S (%)				
Espécie ou Clone	madeira	madeira						cozimento			polpa			
<i>C. citriodora x C. torelliana</i>	533	ni	ni	74,6	22,9	ni	2,5	235	22	32	50,6	18,7	1296	Segura et al., 2015
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	276	ni	ni	67,3	27,1	ni	5,6	235	20	32	54,0	18,5	1341	Segura et al., 2015
<i>Corymbia citriodora</i>	668	ni	ni	73,1	22,3	ni	4,7	235	19	32	54,1	18,0	1273	Segura et al., 2015
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	469	ni	ni	68,8	28,1	ni	3,1	235	18,2	30	54,5	18,0	1099	Segura, 2012
Tempo Total = 235 min	487	ni	ni	70,9	25,1	ni	4,0	235	19,8	31,5	53,3	18,3	1252	
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	477	ni	ni	53,3	27,3	ni	2,7	150	17,7	30	51,2	18,0	1424	Queiroz, 2002
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	552	ni	ni	55,9	26,6	ni	3,4	150	19,6	30	48,6	18,0	1099	Queiroz, 2002
Tempo Total = 150 min	515	ni	ni	54,6	27,0	ni	3,1	150	18,7	30	49,9	18,0	1261	
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	475	45,8	19,7	65,5	30,3	2,8	1,2	140	17	30	55,0	17,0	1284	Morais, 2008
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	505	46,7	18,1	64,8	28,8	2,8	2,0	140	17	30	54,7	17,0	1310	Morais, 2008
<i>Eucalyptus grandis</i>	475	46,4	20,1	66,4	30,2	2,4	1,4	140	17	30	51,2	17,0	1098	Morais, 2008
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	515	45,7	18,4	64,0	29,1	2,5	2,3	140	17	30	53,1	17,0	1333	Morais, 2008
<i>Eucalyptus grandis</i>	432	46,4	18,9	65,3	30,9	2,1	0,8	140	17	30	54,7	17,0	1098	Morais, 2008
<i>Eucalyptus grandis</i>	490	44,8	20,6	65,4	28,7	2,1	2,6	140	18	30	52,7	17,0	1100	Morais, 2008
Tempo Total = 140 min	482	46,0	19,3	65,2	29,7	2,4	1,7	140	17,2	30	53,6	17,0	1204	

DB = Densidade básica; C = Teor de Celulose; H = Teor de Hemicelulose; C+H = Teor de Holocelulose; TL = Teor de Lignina; SG = Relação Siringila/Guaiacila da Lignina; E = Teor de Extrativos; TT= Tempo Total de cozimento; CA= Carga Alcalina; S = Sulfidez.

ANEXO II

A - Planilha de dados do gênero *Pinus* contendo espécies/clones, idade, espaçamento e local a partir do material bibliográfico selecionado

Material	Classes de Madeira	Idade	Espaçamento	Local de origem	Referências Bibliográficas
Espécie ou Clone		anos	m	cidade/estado/país	
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus</i>	12	ni	Telêmaco Borba-PR	Rigatto et al., 2004
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus</i>	12	ni	Telêmaco Borba-PR	Rigatto et al., 2004
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus</i>	12	ni	Telêmaco Borba-PR	Rigatto et al., 2004
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus</i>	12	ni	Telêmaco Borba-PR	Rigatto et al., 2004
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus</i>	12	ni	Telêmaco Borba-PR	Rigatto et al., 2004
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus</i>	12	ni	Telêmaco Borba-PR	Rigatto et al., 2004
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus</i>	ni	3x2	Telêmaco Borba – PR	Zanão, 2020
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus</i>	21	ni	Telêmaco Borba – PR	Vivian et al., 2015
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus</i>	12	ni	Telêmaco Borba-PR	Rigatto et al., 2004
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus</i>	12	ni	Telêmaco Borba-PR	Rigatto et al., 2004
<i>Pinus mandiminói</i>	<i>Pinus</i>	ni	3x2,5	Telêmaco Borba – PR	Zanão, 2020
<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus</i>	45	ni	Finlândia	Vivian et al., 2015

ni = não informado

B - Planilha de dados do gênero *Pinus* contendo as características da madeira (densidade e composição química), as variáveis do processo de polpação (tempo total de cozimento, álcali ativo, sulfidez), as características da polpa (rendimento, número kappa e viscosidade) e as referências bibliográficas (autor/data)

Material	DB (kg/m³)	Composição Química						Condições			Rendimento (%)	Número Kappa	Viscosidade (cm³/g)	Referências Bibliográficas
		C (%)	H (%)	C+H (%)	TL (%)	SG	E (%)	TT (min)	CA (% como NaOH)	S (%)				
Espécie ou Clone	madeira	madeira						cozimento			polpa			
<i>Pinus taeda</i>	394	ni	ni	69,9	27,2	ni	2,9	ni	ni	ni	50,7	31,5	ni	Rigatto et al., 2004
<i>Pinus taeda</i>	391	ni	ni	68,9	28,2	ni	3,0	ni	ni	ni	50,7	31,1	ni	Rigatto et al., 2004
<i>Pinus taeda</i>	386	ni	ni	70,3	26,3	ni	3,0	ni	ni	ni	50,6	31,1	ni	Rigatto et al., 2004
<i>Pinus taeda</i>	384	ni	ni	69,3	27,7	ni	3,0	ni	ni	ni	48,8	31,1	ni	Rigatto et al., 2004
<i>Pinus taeda</i>	381	ni	ni	68,1	28,9	ni	3,0	ni	ni	ni	48,8	31,4	ni	Rigatto et al., 2004
<i>Pinus taeda</i>	379	ni	ni	68,7	28,3	ni	3,0	ni	ni	ni	48,8	31,1	ni	Rigatto et al., 2004
<i>Pinus taeda</i>	417	ni	ni	68,8	28,3	ni	2,9	135	22,1	35	49,9	65,0	995	Zanão, 2020
<i>Pinus taeda</i>	435	ni	ni	70,5	26,7	ni	2,8	120	24	25	44,9	17,3	ni	Vivian et al., 2015
<i>Pinus taeda</i>	373	ni	ni	67,2	29,7	ni	3,1	ni	ni	ni	48,6	31,0	ni	Rigatto et al., 2004
<i>Pinus taeda</i>	376	ni	ni	68,2	28,8	ni	3,0	ni	ni	ni	48,7	30,9	ni	Rigatto et al., 2004
<i>Pinus mandiminioi</i>	406	ni	ni	67,7	28,8	ni	3,5	135	22	35	49,5	65,2	1031	Zanão, 2020
<i>Pinus sylvestris</i>	436	ni	ni	68,0	25,6	ni	6,4	120	24	25	44,2	25,3	ni	Vivian et al., 2015

DB = Densidade básica; C = Teor de Celulose; H = Teor de Hemicelulose; C+H = Teor de Holocelulose; TL = Teor de Lignina; SG = Relação Siringila/Guaiacila da Lignina; E = Teor de Extrativos; TT= Tempo Total de cozimento; CA= Carga Alcalina; S = Sulfidez.

