UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RUBERVAL PAULO CARDOSO VIEIRA JÚNIOR

POTENCIAL DE BIOMASSA FLORESTAL LENHOSA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA, ORIUNDA DA SUPRESSÃO VEGETAL EM ÁREAS DE MINERAÇÃO NA FLORESTA NACIONAL SARACÁ TAQUERA – PA.

PORTO TROMBETAS - PA

2020

RUBVERVAL PAULO CARDOSO VIEIRA JÚNIOR

POTENCIAL DE BIOMASSA FLORESTAL LENHOSA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA, ORIUNDA DA SUPRESSÃO VEGETAL EM ÁREAS DE MINERAÇÃO NA FLORESTA NACIONAL SARACÁ TAQUERA – PA.

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do MBA em Gestão Estratégica em Energias Renováveis e Biocombustíveis, Setor de PECCA, Universidade Federal do Paraná.

Orientador/Professor: Prof. Dr. Marcelo Langer

PORTO TROMBETAS - PA

2020

POTENCIAL DE BIOMASSA FLORESTAL LENHOSA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA, ORIUNDA DA SUPRESSÃO VEGETAL EM ÁREAS DE MINERAÇÃO NA FLORESTA NACIONAL SARACÁ TAQUERA – PA.

Ruberval Paulo Cardoso Vieira Júnior

RESUMO

O Brasil é um país com grande vocação florestal com aproximadamente 500 milhões de hectares (59% do seu território) de florestas naturais e plantadas − o que representa a segunda maior área de florestas do mundo, atrás apenas da Rússia. A biomassa, destinada ao aproveitamento energético, é uma fonte primária de energia, não fóssil, que consiste em matéria orgânica de origem animal ou vegetal. A biomassa contém energia armazenada sob a forma de energia química. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de energia que pode ser gerado através da biomassa florestal lenhosa oriunda do processo de supressão vegetal em área de mineração de bauxita inserida em uma Floresta Nacional na Amazônia brasileira. O trabalho foi realizado em duas etapas: levantamento e análise dos dados. Foi realizada pesquisa bibliográfica em artigos científicos, teses, dissertações e demais literaturas sobre o tema. Foi identificado um valor estimado potencial de energia disponível de 1747,48 tep ha^{-1}, o que equivale a 541,72 t ha^{-1}, mostrando ser uma grande oportunidade de utilização em processos de geração de energia na região, em substituição a termelétrica a diesel. A importância de se diversificar a fonte de geração de energia, utilizando de forma racional os recursos naturais existentes na região, acabando por contribuir com uma melhor gestão dos recursos florestais e fomentando o uso de energia renovável.

Palavras-chave: Produto florestal madeireiro; Uso racional; Dendroenergia; Floresta nativa primária.

ABSTRACT

Brazil is a country with a great forestry vocation with approximately 500 million hectares (59% of its territory) of natural and planted forests - which represents the second largest area of forests in the world, after Russia only. Biomass, intended for energy use, is a primary source of energy, non-fossil, consisting of organic matter of animal or vegetable origin. Biomass contains energy stored in the form of chemical energy. The objective of this study was to evaluate the energy potential that can be generated through woody forest biomass originated from the process of vegetation suppression in a bauxite mining area inserted in a National Forest in the Brazilian Amazon. The work was carried out in two stages: survey and data analysis. Bibliographic research was carried out on scientific articles, theses, dissertations and other literature on the subject. An estimated potential value of available energy of 1,747.48 toe ha^{-1} was identified, proving to be a great opportunity to be used in energy generation processes in the region, replacing diesel thermal power plants. The importance of diversifying the source of energy generation, making rational use

of the natural resources existing in the region, ultimately contributing to better management of forest resources and encouraging the use of renewable energy.

Keywords: Timber forest product; Rational use; Dendroenergy; Primary native forest.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil possui mais de 250 sistemas isolados de geração de energia, sendo a maior parte localizada nos estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Amapá e Pará. Os Sistemas Isolados representam menos de 1% do consumo de energia elétrica no Brasil, todavia destacam-se pela predominância da geração termelétrica à diesel, cerca de 96% do suprimento. O diesel é uma fonte cara, poluente e com preços relativamente voláteis, o que representa uma excelente oportunidade para fontes alternativas, entre elas a biomassa lenhosa residual, que podem se beneficiar dos altos custos de oportunidade na região (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE, 2018).

A biomassa, destinada ao aproveitamento energético, é uma fonte primária de energia, não fóssil, que consiste em matéria orgânica de origem animal ou vegetal. A biomassa contém energia armazenada sob a forma de energia química. Em relação a sua origem, as biomassas para fins energéticos podem ser classificadas nas categorias de biomassa energética florestal, biomassa energética da agropecuária, as culturas agroenergéticas e os coprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais da produção animal e rejeitos urbanos (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL – BEN, 2019).

Aumentar a diversificação da matriz energética de um país e reduzir sua dependência de combustíveis fósseis é uma medida estratégica importante para a garantir o suprimento de energia. Dessa maneira, não se fica tão vulnerável às oscilações dos preços do petróleo e às instabilidades políticas dos países produtores (COELHO et al., 2005).

Do ponto de vista ambiental, a geração de eletricidade a partir de biomassa florestal, converge com as metas que estão sendo anunciadas pelo Governo Federal de redução de emissões e aumento da participação de fontes renováveis de energia na matriz energética nacional. Nesse cenário, a Organização das Nações Unidas (ONU) destaca os seguintes objetivos entre os dezessete “Objetivos para o

Desenvolvimento Sustentável – ODS" até 2030, os quais estão relacionados ao uso racional do recurso florestal: (I) Objetivo 7 – assegurar o acesso confiável, sustentável e moderno a energia para todos; (II) Objetivo 13 – mitigar as mudanças climáticas globais; e, (III) Objetivo 15 – proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas. Essas preocupações, ligadas ao alto custo de fornecimento e à crescente demanda por energia, estimularam o interesse no uso de energia renovável em todo o mundo.

A matéria-prima para fins energéticos pode ser adquirida a partir de várias fontes disponíveis, porém, o uso da biomassa vegetal deve ser sempre levado em considerações sob os aspectos ecológicos, econômicos e sociais.

A transformação da floresta primária simplesmente em energia é inconcebível, tendo em vista que nesse tipo de cobertura existem espécies altamente valiosas que devem ter outras destinações. No entanto, em algumas atividades que necessitam remover a floresta, tais como a de mineração, agropecuária, formação de represas em áreas de florestas e demais áreas, uma das possíveis destinações do material lenhoso pode ser através da geração de energia. Atualmente, na maioria desses processos, a atual destinação do recurso florestal é para comercialização, doação, utilização na própria área do empreendimento e utilização nos processos de restauração das áreas impactadas.

Em processos onde ocorrem atividades de mineração e manejo florestal, existe um potencial enorme para desenvolver a produção de energia através da biomassa florestal. Os coprodutos do manejo florestal podem ser usados para geração de energia elétrica em comunidades remotas nos estados da Amazônia, como Rondônia, Acre, Roraima, Amapá, Amazonas e Pará (EPE, 2018). Além disso, podem ser destinados à produção de carvão vegetal para suprir o segundo maior polo siderúrgico do Brasil, localizado na região de Carajás, entre os estados do Maranhão e Pará (UHLIG et al; 2008). Na legislação, o uso dos coprodutos do manejo florestal para produção energética na Amazônia é previsto no artigo 2º, inciso XIV, da Instrução Normativa MMA nº 05, de 11 de dezembro de 2006 e no capítulo IV, artigo 13º, inciso VIII, da instrução normativa ICMBio nº 01 de 15 de janeiro de 2018, sendo passíveis de utilização para geração de energia após atividades de supressão vegetal. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de biomassa florestal lenhosa para geração de energia, oriunda das

atividades de supressão vegetal para subsidiar atividade de mineração de bauxita em uma Floresta Nacional na Amazônia brasileira.

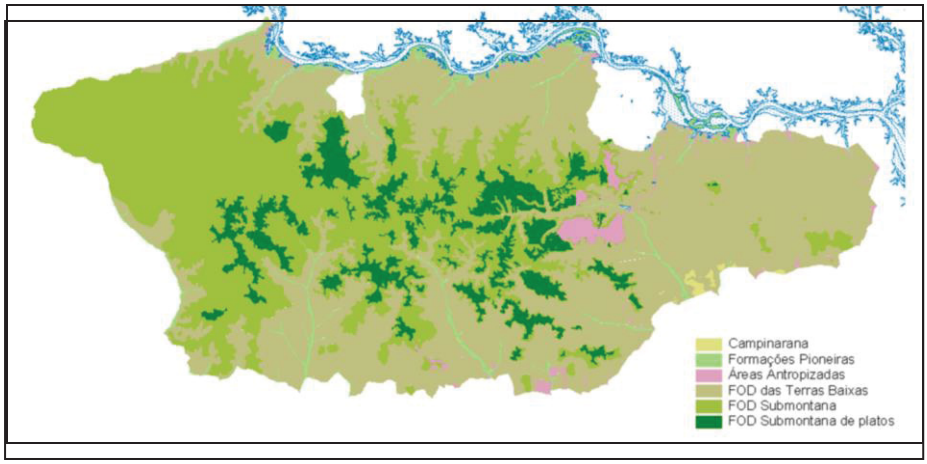
2 REVISÃO DE LITERATURA

O mundo possui uma área total de floresta de 4,06 bilhões de hectares (ha), o que representa 31% da área total da terra. Essa área é equivalente a 0,52 ha por pessoa, embora as florestas não sejam distribuídas igualmente entre os povos do mundo ou geograficamente. O domínio tropical tem a maior proporção de florestas do mundo (45%), seguido pelos domínios boreal, temperado e subtropical (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO, 2020).

O Brasil é um país com grande vocação florestal, apresentando aproximadamente 500 milhões de hectares (59% do seu território) de florestas naturais e plantadas − o que representa a segunda maior área de florestas do mundo, atrás apenas da Rússia (Serviço Florestal Brasileiro – SFB, 2019). Fazendo uma relação da área de floresta com o número de habitantes no Brasil, se obtém 2,36 ha de floresta para cada brasileiro. Assim, o Brasil é um dos poucos países do mundo com potencial de substituir completamente as fontes de energias de origem fóssil por fontes renováveis (não fósseis).

A FLONA Saracá-Taquera é uma Unidade de Conservação - UC criada através do Decreto Federal nº 98.704/1989 e tem como objetivo o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e ambientais. Possui área de 429.600 mil hectares, limitando-se ao norte com a Reserva Biológica do Rio Trombetas (REBIO Rio Trombetas) e a oeste com a Floresta Estadual de Faro (Flona de Faro). Na FIGURA 1 é apresentado mapa de vegetação da FLONA, a cor verde escura, representa a localização dos platôs concedidos ao processo de lavra, obviamente após o licenciamento ambiental de cada um deles.

FIGURA 1 – MAPA DE VEGETAÇÃO DA FLONA SARACÁ TAQUERA – PA.



FONTE: IBAMA (2001).

A vegetação dessa área é composta basicamente por Floresta Ombrófila Densa Submontana de Platôs e o solo corrente é o latossolo amarelo que constitui o material inerte predominantemente nas áreas de mineração de bauxita, localizada imediatamente abaixo desse. A referida FLONA é onde estão localizados os diversos platôs que possuem concessão de lavra mineral para extração de bauxita na região oeste do Pará, o qual ainda existe uma perspectiva de mais 30 anos de produção de bauxita na região (16,76 milhões t ano^{-1}). A produção de bauxita nos últimos 7 anos foi de aproximadamente de 47 mil t ha^{-1} suprimidos.

De acordo com o artigo 17 da Lei 9985/2000, a Floresta Nacional é uma área com cobertura florestal de espécies predominantemente nativas e tem como objetivo básico o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas (BRASIL, 2000).

No Plano de Manejo (2001) da FLONA em estudo, é previsto em sua Zona de Mineração uma área de 142.095,47ha, o que representa 33,08% do total da área da FLONA. O objetivo geral desta zona é propiciar a exploração de recursos minerais dentro de parâmetros aceitáveis. Todas essas áreas já possuem Decretos e Portarias de Lavra emitidos pelo Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, o qual no final do ano de 2017 se tornou Agência Nacional de Mineração – ANM.

Os bens minerais, inclusive os do subsolo pertencem à União, sendo que no caso de mineração na FLONA, existe um processo de concessão mineral por parte

do governo, o qual iniciou antes mesmo da existência da FLONA. Após a criação da UC, o Plano de Manejo inclui em seu zoneamento as áreas de mineração.

No artigo 225 da Constituição Brasileira, inciso VII, § 2º afirma 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 (BRASIL, 1988).

Já na Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, em seu artigo 3º, inciso VIII, alínea “b” afirma que as atividades de **mineração**, com exceção da extração de areia, argila, saibro e cascalho, são consideradas de utilidade pública.

Para o processo de licenciamento ambiental da atividade de mineração no interior de uma FLONA, o IBAMA é o órgão licenciador oficial, sendo responsável pela emissão da Licença Previa – LP, Licença de Instalação – LI, Licença de Operação – LO, Autorização de Supressão de Vegetação – ASV e demais autorizações e anuências para o desenvolvimento da atividade. O ICMBio é o órgão responsável pela gestão da UC, pela emissão de pareceres e anuência às diversas solicitações encaminhadas ao órgão licenciador oficial.

A área de estudo se encontra sob domínio do bioma Floresta Ombrófila Densa, também conhecida como Floresta Tropical Pluvial. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2012), o termo Floresta Ombrófila Densa, criado por Ellenberg e Mueller-Dombois (1967), substitui o temo “pluvial” (de origem latina) por “ombrófila” (de origem grega), ambos com o mesmo significado “amigo das chuvas”.

Ainda segundo IBGE (2012), esse tipo de vegetação é caracterizado por fanerófitos – subformas de vida macro e mesofanerófitos, além de lianas lenhosas e epífitas em abundância, que o diferenciam das outras classes de formações. Porém, sua característica ecológica principal reside nos ambientes ombrófilos que marcam muito a “região florística florestal”. Assim, a característica ombrotérmica da Floresta Ombrófila Densa está relacionada a fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25ºC) e de alta precipitação, bem-distribuída durante o ano (de 0 a 60 dias secos), o que determina uma situação bioecológica praticamente sem período biologicamente seco.

Este tipo de vegetação é perenifólia e caracteriza-se pela presença de fanerófitos - subformas de vida macro e mesofanerófitos, além de lianas lenhosas e epífitas em abundância, que o diferenciam das outras classes de formações. Porém,

sua característica ecológica principal reside nos ambientes ombrófilos que marcam muito a “região florística florestal”. Assim, a característica ombrotérmica da Floresta Ombrófila Densa está presa a fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25º C) e de alta precipitação, bem-distribuída durante o ano (de 0 a 60 dias secos), o que determina uma situação bioecológica praticamente sem período biologicamente seco (IBGE, 2013).

De acordo com o Plano de Manejo (IBAMA/MMA 2001), a distribuição de espécies na FLONA de Saracá-Taquera é de certa maneira uniforme, sendo as espécies mais representativas: castanheira (*Bertholletia excelsa* H.B.K.), maçaranduba (*Manilkara huberi* Ducke Standl), angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke), piquiá (*Caryiocar villosum* Aubl.) e ucuúba-da-terra-firme (*Virola melinonii* Benoist). Caracteriza-se pela grande biomassa vegetal, pela existência de um dossel uniforme onde predominam as abiuranas (*Pouteria* spp.) e breus (*Protium* spp.) e pela presença de árvores emergentes com até 45 m de altura, onde se destaca o angelim-vermelho (*Dinizia excelsa*).

No sub-bosque desta formação é possível encontrar grande densidade de palmeiras, principalmente muru-muru (*Astrocaryum* sp) e indivíduos jovens de bacaba (*Oenocarpus bacaba*). Nas porções mais elevadas e nas proximidades das nascentes as árvores apresentam uma diversidade menor e menor porte com o destaque dos indivíduos de abiurana-do-brejo (*Pouteria* sp), açaí (*Euterpe oleraceae*) e andiroba (*Carapa guianensis*).

Nessa FLONA, a lavra do minério é feita a céu aberto em faixas, com escavação mecânica dos materiais (minério e estéril). A bauxita encontra-se entre 4 e 10 m de profundidade em uma área coberta pela floresta ombrófila densa, da sub-região dos baixos platôs da Amazônia, domínio da floresta densa das baixas altitudes.

Essa fitofisionomia apresenta dois estratos distintos: um emergente e outro uniforme. Trata-se de uma floresta que se destaca no bioma Amazônia por apresentar uma grande riqueza arbórea e elevados valores de biomassa, entre outros atributos (SALOMÃO et al., 2008), além de um grande volume de madeira, sobretudo, daquelas de valor comercial (RADAMBRASIL, 1976).

Os indicadores (variáveis) fitossociológicos e estruturais da floresta densa dos platôs (local de ocorrência de bauxita), cujos solos são francamente argilosos, apresentam valores que se destacam no bioma Amazônia, tais como: área basal de

31 m² ha^{-1}, biomassa de quase 400 toneladas ha^{-1}, volume de madeira superior a 360 m³ ha^{-1}, riqueza média de 186 espécies ha^{-1} e abundância superior a 470 indivíduos ha^{-1}, implicando num alto índice de diversidade (H=4,71); tais valores demonstram bem o porte e a diversidade elevados dessas florestas que recobrem os 23 platôs da FLONA Saracá-Taquera (SALOMÃO, 2015).

A biomassa florestal é um parâmetro imprescindível para compreender a produção primária de um ecossistema e avaliar o potencial de uma floresta para a produção de energia. Considerando-se que aproximadamente 50% da madeira seca é carbono (C), a biomassa florestal é um elemento também importante no entendimento dos processos envolvidos nas mudanças climáticas globais. O estoque de C é utilizado na estimativa da quantidade de dióxido de carbono (CO_2) que é liberada para a atmosfera durante o processo de combustão da biomassa (Serviço Florestal Brasileiro, 2019).

A biomassa é uma alternativa de energia sustentável para a redução das emissões de CO_2, pois é considerada uma fonte de energia com emissão neutra de carbono (RUSSELL; KUMAR, 2017). O CO_2 produzido, durante a combustão de biomassa para geração de energia, é equivalente ao CO_2 absorvido e fixado pelo processo natural de fotossíntese das plantas durante o seu crescimento e desenvolvimento (NHUCHHEN; AFZAL, 2017)

No restante do país, a produção de madeira, em forma de lenha, carvão vegetal ou toras, também gera grande quantidade de coprodutos que podem igualmente ser aproveitados na geração de energia elétrica. No entanto, o recurso de maior potencial para geração de energia elétrica no país é o bagaço da cana-de-açúcar (CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE, 2020).

Analisando as tecnologias das fontes energéticas alternativas renováveis, já suficientemente maduras para serem empregadas comercialmente, somente a biomassa, utilizada em processos modernos com elevada eficiência tecnológica, possui a flexibilidade de suprir energéticos tanto para a produção de energia elétrica quanto para mover o setor de transportes (CORTEZ et al. 2008) e também energia térmica.

Embora grande parte do planeta esteja desprovida de florestas, a quantidade de biomassa existente no planeta Terra é da ordem de dois trilhões de toneladas, o que significa cerca de 400 toneladas per capita. Embora grande parte

da biomassa seja de difícil contabilização, devido ao uso não-comercial, estima-se que, atualmente, ela possa representar até cerca de 14% de todo o consumo mundial de energia primária. Em alguns países em desenvolvimento, essa parcela pode aumentar para 34%, chegando a 60% na África (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – AIE, 1998)

A biomassa florestal é todo o material orgânico produzido por sistemas florestais nativos ou implantados, que derive da manufatura de produtos florestais na indústria de base florestal e por fim, de resíduos urbanos, oriundos da utilização dos produtos, anteriormente, manufaturados ou mesmo do manejo de florestas urbanas. Essa biomassa florestal não se restringe a madeira, comumente denominada lenha, sendo que existem também uma gama de materiais que constituem a biomassa florestal, onde se inclui folhas, galhos, serapilheira, raízes, frutos, extrativos (gomas, resinas, graxas); coprodutos da indústria de base florestal com grande variação de tamanho, forma e contaminação com componentes do processo produtivo, que podem ainda ter sólidos (casca, cavacos, serragem, refilos, destopos, pó) ou líquidos (licor negro das indústrias de celulose e papel, por exemplo) (BRAND, 2010).

A utilização dos coprodutos da biomassa produzida no Brasil necessita ainda de avaliações acuradas e precisas do seu potencial de recuperação economicamente viável e de análises completas de seus ciclos de vida como produtos energéticos. Apesar da pouca informação disponível sobre esses parâmetros, decorrente principalmente da ausência de interesse de sua utilização como produto energético, os estudos neste sentido começam a ser desenvolvidos de forma mais consistente, frente às expectativas da valorização destes coprodutos para diversas aplicações sustentáveis (PLANO NACIONAL DE ENERGIA – PNE, 2007).

Embora ainda muito restrito, o uso de biomassa para a geração de eletricidade tem sido objeto de vários estudos e aplicações, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento. Entre outras razões, estão a busca de fontes mais competitivas de geração e a necessidade de redução das emissões de dióxido de carbono.

Segundo Brand (2010), para verificação da viabilidade técnica para geração de energia de determinada biomassa florestal, é necessário avaliar os seguintes parâmetros:

- Composição química elementar: corresponde ao percentual em massa dos principais elementos que constituem a biomassa, geralmente referido à matéria seca. São geralmente apresentados valores para o carbono (C), hidrogênio (H), enxofre (S), oxigênio (O), nitrogênio (N) e cinzas (A). Esta última parcela agrega todos os elementos que não são relevantes nas reações de combustão como o potássio, o fósforo e o cálcio;
- Composição química imediata: se refere ao conteúdo percentual do carbono fico (F), materiais voláteis (V), cinzas (A) e eventualmente umidade (W), baseado na massa do combustível;
- Umidade: quantidade de água ou umidade presente na biomassa. Para geração de energia, o ideal é o uso do teor de umidade na base úmida, pois este expressa a quantidade de água no peso total da amostra que está sendo avaliada, na forma que será utilizada para geração de energia. Esse parâmetro é o que mais influencia no poder calorifico da matéria-prima, visto que quanto maior a umidade, menor será a quantidade de energia útil para o sistema de geração de energia;
- Poder calorifico: é a quantidade de calor total (energia térmica) que é liberado durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume de combustível (kcal kg^{-1} ou kJ kg^{-1}; kcal m^{-3} ou kJ m^{-3}). O poder calorifico inferior – PCI se refere ao calor efetivamente possível de ser utilizado nos combustíveis, enquanto o poder calorifico superior – PCS é em torno de 10 a 20% mais elevado, resultado de sua avaliação em laboratório. Os principais fatores que influenciam o poder calorifico são a composição química, tipo de biomassa, teor de umidade e teor de cinzas;
- Densidade: é a quantidade de massa contida em um determinado volume de matéria. No caso da madeira sólida, uma das formas mais comuns de expressar sua densidade é por meio da densidade básica ou massa específica básica. A informação da densidade básica da madeira é fundamental para o processo de geração de energia, pois expressa a quantidade de massa de madeira, sem a influência da

umidade, sendo importante também para dimensionamento das unidades de geração de energia, do rendimento e eficiência da biomassa nos respectivos sistemas;

- Biodegradação: a perda de material na biomassa destinada a geração de energia pode ocorrer de duas formas, seja pela perda devido à queda durante o manuseio físico e devido à decomposição natural causada por microrganismos e processo de oxidação química;
- Teor de cinzas: pode ser dividido em duas categorias, natural e de contaminação. O natural é derivado das substâncias inorgânicas que participam da nutrição do vegetal. O de contaminação consiste na incrustação de materiais inorgânicos, terra, areia e pedras que se agregam na biomassa durante as atividades de colheita ou coleta, transporte e manuseio dele;
- Granulometria: este termo é relacionado a sua dimensão, sendo fundamental para processos de utilização para geração de energia, influenciando diretamente na densidade a granel do material, no tipo de grelha a ser adotada, velocidade de queima, armazenamento e manuseio.

Do ponto de vista técnico-econômico, os principais entraves ao maior uso da biomassa na geração de energia elétrica são a baixa eficiência termodinâmica das plantas e transporte. De um modo mais genérico, incluindo aspectos socioambientais, verifica-se a necessidade de maior gerenciamento do uso e ocupação do solo, devido à falta de regularidade no suprimento (sazonalidades da produção), criação de monoculturas, perda de biodiversidade e uso intensivo de defensivos agrícolas. Esses entraves tendem a ser contornados, a médio e longo prazos, pelo desenvolvimento, aplicação e aprimoramento de novas e eficientes tecnologias de conversão energética da biomassa (CORTEZ; BAJAY; BRAUNBECK, 1999) e por meio dos incentivos instituídos pelas políticas do setor elétrico.

As espécies nativas têm sido suplantadas devido principalmente à sua pequena taxa de crescimento e porque são necessários mais estudos relacionados com a produção de sementes, tratos silviculturais e sistemas de manejo. Quanto mais densa é uma madeira, maior o poder calorífico por unidade volumétrica. Madeiras mais leves possuem, aproximadamente, o mesmo poder calorífico por

unidade de peso, mas possuem menor poder calorífico por unidade de volume (ROSÁRIO, 2011).

Nogueira et al. (2005) avaliando a densidade básica de 186 espécies florestais da Amazônia Central, evidenciaram que 0,5% das espécies se enquadravam como madeira de densidade muito baixa, 4,3% baixa, 72,6% média e 22,6% alta, se adotada a classificação de Csanády et al. (2015). A densidade básica média verificada no estudo supracitado foi de 0,675 g cm^{-3}, majoritariamente, espécies de densidade média. Outros estudos corroboraram o predomínio de espécies de densidade básica média na Amazônia (FEARNSIDE, 1997; PATINO et al., 2009).

O Brasil possui recursos extensivos de biomassa que são potencialmente suficientes para equilibrar a demanda total de energia primária brasileira até 2030 (WELFLE, 2017). Entretanto, para viabilizar futuras instalações de sistemas de conversão locais baseados na geração de calor ou na produção de carvão vegetal, tornam-se necessários novos estudos com mapeamentos das fontes de lenha na Amazônia e viabilidade econômica da atividade (LIMA, 2020).

De acordo com a tecnologia empregada na sua utilização energética, a biomassa pode ser classificada em três categorias (BAUEN et al., 2005):

• tecnologias tradicionais de uso da biomassa (ou biomassa tradicional): combustão direta de madeira, lenha, carvão vegetal, coprodutos agrícolas, coprodutos de animais e urbanos, para cocção, secagem e produção de carvão;

• tecnologias “aperfeiçoadas” de uso da biomassa (ou biomassa “aperfeiçoada”): tecnologias aperfeiçoadas e mais eficientes de combustão direta de biomassa, tais como fogões e fornos.

• tecnologias modernas de uso da biomassa (ou biomassa moderna): tecnologias avançadas de conversão de biomassa em eletricidade e o uso de biocombustíveis.

Os coprodutos florestais são constituídos por todo material que é abandonado na colheita da madeira, tanto em florestas e bosques naturais como em reflorestamentos; pela serragem e aparas produzidas no processamento da madeira. Esses coprodutos deixados no local de colheita são as folhas, os galhos e o material resultante da destoca (CORTEZ et al., 2008).

Nos planos de manejo florestal sustentável na Amazônia brasileira, sob regime de Exploração de Impacto Reduzido – EIR, o volume de coprodutos florestais

gerados na fase de colheita depende da intensidade de corte adotada pelas empresas florestais. Cruz Filho e Silva (2009) relataram uma produção de 137,18 m³ ha^{-1} de coprodutos madeireiros na floresta sob EIR com intensidade de corte de madeira de 15 m³ ha^{-1} na cidade de Mojú, Estado do Pará, Amazônia Oriental. Keller et al. (2004) quantificaram 154 m³ ha^{-1} de coprodutos da colheita de uma unidade de manejo florestal com intensidade de corte de madeira de 30 m³ ha^{-1} na cidade de Santarém – PA, Brasil. Assim, alta intensidade de corte resulta em alta produção de coprodutos de colheita. Estima-se que, para cada uma (1) tonelada de madeira colhida sob o regime de EIR na Amazônia, sejam produzidas 2,13 toneladas de coprodutos (NUMAZAWA et al., 2017). Foi considerado coproduto madeireiro lenhoso, os galhos, sapopemas e restos de troncos e arvores caídas, provenientes da colheita florestal, os quais podem ser utilizados como produtos secundários do manejo florestal, como exemplo a energia potencial a ser gerada (FRANCEZ et al., 2013).

Algumas legislações tratam o tema, entre elas se destacam:

- **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 1/2018/GABIN/ICMBIO, DE 15 DE JANEIRO DE 2018**: Ficam estabelecidos os procedimentos para a concessão de Anuência para Autorização para Supressão de Vegetação no interior de unidades de conservação federais para atividades sujeitas ao licenciamento ambiental e para a concessão de Autorização para Supressão de Vegetação no interior de unidades de conservação federais para atividades não sujeitas ao licenciamento ambiental, nas hipóteses admitidas pela Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, Decreto n° 4.340 de 22 de agosto de 2002 e por seu respectivo Plano de Manejo;
- **INSTRUÇÃO NORMATIVA MMA Nº 5, DE 11 DE DEZEMBRO DE 2006:** Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal, e dá outras providências.
- **Lei 9.478 de 06 agosto de 1997, e alterada pela Lei 11.097 de 13 de janeiro de 2005:** Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho

Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências.

- **Lei 9.648 de 27 de maio de 1998 e alterada pela Lei Federal 10.438 de 26 de abril de 2002**: Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, no 9.648, de 27 de maio de 1998, no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 5.655, de 20 de maio de 1971, no 5.899, de 5 de julho de 1973, no 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências.

Com isso, é perceptível a relevância do tema dos produtos e coprodutos gerados da biomassa florestal lenhosa, seja ela a própria tora, toretes, galhos, sapopemas, raízes e demais itens originários da intervenção humana e passíveis de serem utilizados em processos de geração de energia e outros.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

O estudo teve como referência o platô denominado Monte Branco, apresentando uma área de aproximadamente 3.900 ha, com altitude média de 180m, localizado no interior da Floresta Nacional Saracá-Taquera, gerida pelo ICMBio, licenciada pelo IBAMA, inserida na microrregião do médio Amazonas Paraense, no distrito de Porto Trombetas (01°21’S; 56°22’W), município de Oriximiná – PA, onde se encontra o projeto de mineração de bauxita iniciado em 1967.

Segundo a classificação climática de Köeppen a região de estudo localiza-se sob a clima Af, tropical sem estação seca definida, com temperatura média do mês mais frio maior que 18ºC e o mês mais chuvoso com precipitação maior que 60 mm,

temperatura média anual é de 26,2ºC e a precipitação anual de 2.297 mm (ALVARES et al., 2013).

Sob o ponto de vista geológico a área localiza-se na bacia do Amazonas, formação Alter do Chão (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM, 2019), composta de arenitos avermelhados, argilitos, conglomerados e brechas intraformacionais, formados no período Cretáceo (DAEMON, 1975; MENDES et al., 2012). São encontradas ainda coberturas Lateríticas Autóctones Maturas Bauxíticas, derivadas dos sedimentos cretáceos da Formação Alter do Chão, ocorrendo em forma de platôs (COSTA, 1991).

Os solos da região são classificados como Latossolos Amarelos Distróficos conforme EMBRAPA Solos (2011). Segundo Ruivo et al. (2002), em amostragem no platô Saracá, o solo apresentou textura argilosa e caráter ácido, com altos teores de Alumínio trocável e baixos teores de fósforo, cálcio e magnésio.

São encontrados na FLONA Saracá-Taquera platôs de topo aplainado com encostas íngremes, com desnível médio de 140 m em relação ao rio Trombetas, abaixo dessas áreas ocorrem as terras baixas, constituída pela rede de drenagem do rio Trombetas, composta por igarapés e igapós inundados, que apresentam superfície levemente ondulada (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA, 2001).

Com relação à hidrografia a área de estudo localiza-se sob a bacia hidrográfica do rio Amazonas, sub bacia hidrográfica do rio Trombetas (IBGE, 2000). Segundo Salomão e Matos (2002), a rede hidrográfica apresenta drenagem em padrão dendrítico com capturas fluviais.

A vegetação do platô Monte Branco apresenta estrutura composta de árvores de grandes portes, com diâmetros (maiores que 80 cm de diâmetro altura do peito - DAP), altura (podendo ser superior a 40m) e elevada biomassa. É caracterizada também por apresentar um estrato superior uniforme (dossel emergente), composta de indivíduos com grandes copas e troncos altos e retilíneos, e ainda um estrato secundário na camada abaixo do dossel emergente, constituído de espécies que podem se desenvolver em condições de forte sombra.

Considerando-se todos os indivíduos das sete formas de vidas inventariadas nos seis níveis de medição e nos três ambientes (Topo, Encosta e Vale) do Platô Monte Branco, foram registradas 26.865 plantas, distribuídas em 750 espécies e 267 gêneros, pertencentes a 89 famílias botânicas. Para todos os indivíduos arbóreos e

palmeiras inventariados, com DAP superior a 10 cm, foram registradas 12.346 plantas e 631 espécies botânicas em todo o Platô, o que resultou num total de 498,59 indivíduos ha^{-1} e área basal de 31,32 m^2 ha^{-1}. A altura comercial média, ou seja, altura do fuste, para as espécimes arbóreos e palmeiras encontradas com DAP a partir de 10 cm foi de 13,28 m para todo o Platô.

No topo do platô Monte Branco foram registradas 16.528 plantas de 690 espécies e 255 gêneros de 86 famílias botânicas. A área basal média foi de 31,43 m^2 ha^{-1}. O volume médio foi de 328,911 m^3 ha^{-1}, com um erro relativo de 3,18% em torno da média, para uma probabilidade (P) de 95%. Esse estudo foi realizado em 2010, onde foram distribuídas 308 parcelas de 10 x 250 m na área do topo do platô, correspondendo à uma área amostrada de 77 hectares, com uma densidade de aproximadamente 215 plantas por hectare (INAM, 2010).

3.2. MÉTODOOS

O trabalho foi realizado em duas etapas: levantamento e análise dos dados. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica em artigos científicos, teses, dissertações e demais literaturas sobre o tema.

O levantamento dos dados foi realizado através de uma revisão bibliográfica sobre o tema, sendo analisado o inventário florestal (INSTITUTO NATUREZA AMAZÔNICA – INAM, 2010) e demais estudos realizados no platô denominado Monte Branco, o qual está em operação. Outra referência utilizada para compor o estudo é um diagnóstico intitulado "*Quantificação do Resíduo Florestal"* (STCP, 2014).

O platô Monte Branco possui um remanescente florestal a ser suprimido nos próximos anos, sendo uma área total de floresta primária com cerca de 1886,5 ha. A metodologia utilizada para a supressão é através da utilização de um trator de esteira (Modelo D-11), o qual empurra os indivíduos arbóreos para realizar sua retirada. É importante ressaltar que antes, durante e após a atividade de supressão vegetal, equipes qualificadas de fauna e flora realizam atividades de afugentamento e resgate de fauna e salvamento de flora.

Como parâmetro para identificar o potencial de energia a ser gerado pela biomassa florestal lenhosa, foi solicitado a empresa Mineração Rio do Norte um

histórico de demanda de energia utilizada na referida área de estudo referente ao ano de 2019. Com essa informação, foi possível comparar com a estimativa do potencial de energia a ser gerado pela biomassa florestal lenhosa. A empresa faz uso de energia termelétrica, através da queima de combustível tipo óleo diesel e óleo de baixo ponto de fusão (BPF), visto que até o momento não existe infraestrutura (linhão de transmissão) para trazer energia das hidrelétricas do Pará ao empreendimento.

O produto tora das espécies comerciais com DAP ≥ 40 cm não entram neste estudo, pois elas são destinadas para a comercialização e o próprio uso na área do empreendimento quando necessário para confecção de peças que serão utilizadas nas diversas atividades que envolvem a operação de lavra, projetos e obras (Ex: tábuas, estacas, piquetes, calços, ripas, ripões e etc.). Nesse caso, será feita uma estimativa relacionada aos coprodutos originários do processamento (traçamento e liberação do fuste) das toras comerciais após a derrubada, ou seja, das sapopemas, toretes e galhos. Para isso, será utilizado como referência o estudo de Numazawa et al. (2017) para estimar os coprodutos citados, o qual segue a seguinte fórmula:

$$B\ (1) = V \times 2{,}13\ t \times 0{,}725\ g\ cm^{-3} \qquad \text{Equação 1.}$$

Onde: B (1) = biomassa (coprodutos) em t ha^{-1}; V = volume de madeira em m^3/ha; 2,13 t = quantidade de coprodutos gerados a partir de 1 tonelada de madeira colhida; 0,725 g cm^{-3} = densidade básica média das principais espécies encontradas no inventário INAM (2010).

Será utilizado também para estimar os coprodutos relacionados as espécies não comerciais a seguinte fórmula:

$$B\ (2) = V \times F.C \qquad \text{Equação 2.}$$

Onde: B (2) = biomassa (coprodutos) em t ha^{-1}; V = volume de madeira em m^3/ha; F.C = fator de conversão - Platô Monte Branco = 1,7125 (STCP, 2014).

Dados de volume (m^3 ha^{-1}), principais espécies, densidade (kg m^{-3}), massa verde por hectare e dados do fator de conversão foram levantados e avaliados no trabalho.

Para encontrar a densidade básica média das principais espécies não comerciais identificadas no inventario florestal, foi realizado pesquisa na referência Nogueira et al. (2004) e Brasil (2016), disponíveis no site http://sistemas.florestal.gov.br/ madeirasdobrasil/foreword.htm.

Para avaliar o potencial de energia que a empresa pode usufruir em seus processos, primeiramente foi verificado a disponibilidade de biomassa florestal lenhosa existente na área, através da avaliação do inventário florestal da área e qual o histórico de supressão de vegetação no respectivo platô. Para isso, foi utilizado como referência o produto lenha para realização dos fatores de conversão, com base no documento denominado “Balanço Energético Nacional ano base 2018” (2019). Assim, para fins de comparações com combustíveis fósseis, foram realizadas conversões energéticas para tonelada equivalente de petróleo (tep), em conformidade com os fatores de conversão contidos na referida referência.

O conteúdo de cinzas da biomassa florestal pode ser dividido em duas categorias: o natural e o poluído (ou de contaminação). O natural é derivado das substâncias inorgânicas que participam da nutrição do vegetal. Já o derivado da contaminação consiste na incrustação de materiais inorgânico, terra, areia e pedras que se agregam na biomassa durante as atividades de colheita. Sabendo que existe uma variação de 0,5% a 5% (BRAND, 2010) na geração de cinzas e considerando que existe uma contaminação no momento da supressão e arraste da madeira, foi considerado o valor de 5% para fins de estimativa das cinzas.

Não foi realizado nenhum tipo de avaliação econômico financeira para o desenvolvimento do projeto, ficando apenas focado na avaliação do potencial de biomassa florestal disponível para geração de energia.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Foram levantadas 138 espécies no inventário florestal para subsidiar a estimativa de resíduos realizados pela STCP (2014), sendo que 95 (indivíduos com CAP ≥ 12 cm) espécies ocorrem exclusivamente no nível arbóreo, 23 (indivíduos com CAP < 12 cm e altura < 1,5 m) no nível de regeneração e as demais (20) ocorrem nos dois níveis simultaneamente.

O volume médio encontrado no estudo da STCP (2014) de madeira encontrado para a população amostrada é de 292,00 m³ ha^{-1}, sendo o erro relativo estimado em ± 6,93% para 90% de probabilidade. As espécies consideradas não comerciais que concentram o maior volume são: Pitomba (*Talisia mollis*), Abiurana (*Pouteria minima*), Aroeira (*Astronium gracile*), Uruá (*Cordia sprucei*) e Muiratinga (*Maquira guianensis*) representando aproximadamente 24,88% do volume total calculado para a área de levantamento.

Já o inventário florestal realizado pelo INAM (2010), foram levantados no topo do platô um total de 13.738 indivíduos arbóreos (DAP ≥ 10,00 cm), representado por 618 espécies. Foi identificado uma volumetria média total de 128,058 m³ ha^{-1} para as espécies comerciais e de 200,853 m³ ha^{-1} para as espécies não comerciais, assim, totalizando um volume médio de 328,911 m³ ha^{-1}, o que correspondeu a um erro relativo 3,18% em torno da média, podendo-se afirmar com uma probabilidade (P) de acerto de 95%. E, as espécies que apresentaram maior número de indivíduos inventariados no topo do platô Monte Branco foram: Canela de jacamim (*Rinorea riana*) com 749 indivíduos, matamatá branco (*Eschweilera coriácea*) com 645 indivíduos, canela de jacamim branco (*Rinorea racemosa*) com 526 indivíduos, quinarana (*Geissospermum sericeum*) com 472 indivíduos, araçapeú (*Myrcia mutiflora*) com 460 indivíduos e abiurana (*Pouteria decorticans*) 320 indivíduos.

O grupo de indivíduos classificados como comerciais, conforme lista das espécies aproveitadas atualmente e atendendo ao critério mínimo de DAP ≥ 40 cm, correspondem a 13,76% do total amostrado.

A TABELA 1 apresenta a volumetria (m³ ha^{-1}) e o percentual encontrado no estudo de quantificação dos coprodutos realizados pela STCP.

TABELA 1 – VOLUMETRIA POR HECTARE ESPÉCIES COMERCIAIS E NÃO COMERCIAIS

Volume de Madeira por hectare		
Classificação	**Volume (m³ ha^{-1})**	**%**
Comercial	40,17	13,76
Não comercial	251,83	86,24
Total	292,00	100

FONTE: Adaptado STCP (2014).

Percebe-se a existência de uma boa quantidade de volume por hectare das espécies comerciais com potencial para utilização nos processos de geração de energia.

De acordo com STCP (2014), a estimativa de biomassa verde média dos coprodutos encontrados foi de 500,04 t ha^{-1}, sendo o erro relativo estimado de 17,29% para 90% de probabilidade. O fator de conversão encontrado foi 1,7125, ele representa uma medida física da biomassa verde residual associada ao volume médio de madeira em metros cúbicos por hectare. Através desse índice é possível estimar a biomassa residual média pelo método indireto, multiplicando o volume da madeira em m³/ha pelo respectivo fator de conversão. A classe de toras é responsável por 36,85% do total, conforme TABELA 2.

TABELA 2 - QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS NO PLATÔ MONTE BRANCO

Classe de Resíduo	t ha^{-1}	Percentual (%)
Raiz Exposta	15,12	3,02
Casca e Folha	79,84	15,97
Galho Grosso	82,35	16,47
Galho Fino	138,48	27,69
Toras	184,25	36,85
Total	500,04	100

FONTE: Adaptado STCP (2014).

Tendo como base o inventário INAM (2010), ao se utilizar como referência o estudo de Numazawa et al. (2017) para realizar a estimativa dos coprodutos a serem gerados após o processo de retirada da madeira da área, foi realizado a conta: Média de volume de madeira de 328,911 m³ ha^{-1} x 2,13 t x 0,725 Kg m^{-3} (densidade básica média encontrada nas principais espécies do estudo) gerará um volume médio de 507,92 t ha^{-1} coprodutos. Interessante este valor encontrado, pois é próximo do volume de 500,04 t ha^{-1}, identificado pela STCP (2014).

As vinte e cinco (25) espécies consideradas não comerciais mais representativas foram identificadas no inventário florestal do INAM (2010) e sua densidade média básica, nome popular, nome científico, família, total de indivíduos amostrados, volume com casca – Vcc por hectare encontrados estão relacionados na TABELA 3. O volume com casca – Vcc por hectare encontrado das 25 espécies, representam 28% do volume total identificado no inventário florestal. Alguns itens

referentes a densidade seca e verde não foram encontrados nas respectivas fontes e o mesmo aconteceu quanto ao teor de umidade, o qual não é informado nas referências pesquisadas.

TABELA 3 – CARACTERIZAÇÃO DA DENSIDADE DAS PRINCIPAIS ESPÉCIES PASSÍVEIS DE UTILIZAÇÃO ENCONTRADAS NO INVENTÁRIO FLORESTAL INAM (2010)

Item	Nome Popular	Nome Científico	Família	Total ind.	Vcc (m^3 ha^{-1})	Densidade (kg m^{-3})		
						Seca	Verde	Básica
1	Canela de jacamim	*Rinorea riana*	Violaceae	749	1,063			756
2	Matamatá branco	*Eschweilera coriacea*	Lecythidaceae	645	17,957	880	1240	730
3	Canela de jacamim branco	*Rinorea racemosa*	Violaceae	526	2,127			756
4	Quinarana	*Geissospermum sericeum*	Apocynaceae	472	14,772	900		756
5	Araçapeú	*Myrcia mutiflora*	Myrtaceae	460	0,264			710
6	Abiurana	*Pouteria decorticans*	Sapotaceae	320	0,438	850	1240	720
7	Envira pindaúba	*Ryania angustifolia*	Flacourtiaceae	296	0,029			675
8	Acariquarana, Jacamim preto	*Rinorea guianensis*	Violaceae	294	6,266			756
9	Ingá branco	*Inga marginata*	Fabaceae-Mimosoideae	259	0,168	660	1170	850
10	Envira preta	*Guatteria poeppigiana*	Annonaceae	228	1,138	790	1170	650
11	Ingá xixica	*Inga alba*	Fabaceae-Mimosoideae	209	1,418	660	1170	850
12	Breu branco	*Protium pallidum*	Burseraceae	177	0,265	900	1120	760
13	Seringa itaúba	*Hevea guianensis*	Euphorbiaceae	164	6,960			535
14	Caripé folha amarela	*Licania impressa*	Chrysobalanaceae	154	6,162	940	1250	770
15	Caripé	*Licania octandra*	Chrysobalanaceae	153	1,947	940	1250	770
16	Gombeira amarela	*Candolleodendron brachystachyum*	Fabaceae	150	1,743			770
17	Abiu balatinha	*Ecclinusa guianensis*	Sapotaceae	144	5,342			539
18	Abiu folha marrom	*Pouteria resinifera*	Sapotaceae	142	3,673	850	1240	720
19	Acariquara	*Minquartia guanensis*	Olacaceae	139	4,229			766
20	Matamatá vermelho	*Eschweilera atropetiolata*	Lecythidaceae	128	3,647	970	1260	810
21	Louro preto	*Ocotea caudata*	Lauraceae	125	0,985	710	1040	630
22	Abiu vermelho folha miúda	*Pouteria minutiflora*	Sapotaceae	80	2,937	850	1240	720
23	Pau jacaré	*Laetia procera*	Flacourtiaceae	77	2,921		1160	680
24	Abiu farinha seca	*Pouteria eugeniifolia*	Sapotaceae	76	3,057	850	1240	720
25	Matá-matá ci f. gde.	*Eschweilera amazonica*	Lecythidaceae	76	2,866	880	1240	730

FONTE: Adaptado de Nogueira et al.(2004); e Serviço Florestall Brasileiro (2016) http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/pesqu isa.php?idioma=portugues (2020).

Após o levantamento da densidade básica das 25 espécies mais representativas do estudo, foi identificado que a menor densidade foi da espécie

Hevea guianensis (535 kg m^{-3}) e a maior foi *Inga alba* (850 kg m^{-3}). Considerando todas as 25 espécies, a densidade básica média é de 725 kg m^{-3}. Conforme a classificação de Csanády et al. (2015), 44% das espécies possui classificação de densidade média da madeira e 56% é classificada como densidade alta da madeira.

Relacionando o poder calorífico superior e a densidade básica da madeira, pode-se calcular a densidade energética, que possibilita mensurar o potencial que um determinado volume de biomassa tem para geração de energia em calorias ou joules (RODRIGUES; ROUSSET, 2009). Essa variável é um importante indicador do potencial energético de um biocombustível, sendo desejável madeira com maior densidade energética (AMAYA et al., 2015).

Levando em consideração que de acordo com o inventário florestal INAM (2010) existe um volume médio de 200,853 m^3 ha^{-1} de volume de madeira não comercial a serem suprimidos nesse platô e multiplicando esse valor pelo fator de conversão 1,7125 (STCP, 2014), resulta num volume estimado de 343,96 t ha^{-1} de biomassa florestal lenhosa passível de utilização para geração de energia.

$$B\ (2) = 200{,}853\ m^3\ ha^{-1} \times 1{,}7125 = 343{,}96\ t\ ha^{-1}$$

Quanto a madeira comercial pode-se estimar que ao se ter 128,06 m^3 ha^{-1}, após a atividade da retirada da madeira comercial para o pátio de estocagem do produto florestal madeireiro, haverá uma quantidade de coproduto de 197,75 t ha^{-1} biomassa florestal passível de utilização para geração de energia.

$$B\ (1) = 128{,}06\ m^3\ ha^{-1} \times 2{,}13\ t \times 0{,}725\ g\ cm^{-3} = 197{,}75\ t\ ha^{-1}$$

O platô Monte Branco ainda possui 1.886,5 ha a serem suprimidos para o desenvolvimento da atividade de lavra, ou seja, multiplicando esse valor por 541,72 t ha^{-1}, tem-se o total de 1.021.950 toneladas de biomassa florestal lenhosa. Se uma (1) tonelada de biomassa lenhosa equivale a 0,31 tep, teremos um valor estimado disponível total de 1.747,48 tep ha^{-1}, o qual mostra ser uma grande quantidade passível de utilização nesse processo.

A TABELA 4 mostra um resumo dos resultados identificados no estudo, através da volumetria por hectare identificada no inventário florestal das espécies

comerciais e não comerciais e os respectivos quantitativos de biomassa florestal lenhosa produto e coproduto.

TABELA 4 - RESUMO DOS RESULTADOS RELACIONADOS A BIOMASSA FLORESTAL LENHOSA PRODUTO E COPRODUTO.

Item	m^3 ha^1	Biomassa Lenhosa (m^3) total - Produto	Biomassa Lenhosa (t ha^1) - Coproduto	Biomassa lenhosa (tep ha^1) - Coproduto	Biomassa lenhosa (giga-joule ha^1) - Coproduto
Vol/ha (comercial)	128,06	241.585,19	197,76	637,92	2.566,88
Vol/ha (não comercial)	200,853	378.909,18	343,96	1109,55	4.464,61
Subtotal	328,913	620.494,37	541,72	1747,48	7.031,49

FONTE: O autor (2020).

Os quantitativos identificados evidenciam que existe um potencial enorme quanto a utilização deste recurso. A oferta existente mostra como a floresta é rica e a importância de se fazer o uso responsável do recurso florestal.

Em 2019, o consumo energético da empresa via energia termelétrica gerou um valor de 4.198 tep de energia, para as atividades administrativas e gerenciais dos escritórios, oficinas, restaurante e outros. Esse consumo atual é realizado através da queima de óleo diesel e óleo BPF em usina termelétrica.

A Empresa de Pesquisa Energética - EPE, empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, tem buscado nos últimos anos maior visibilidade ao potencial de aproveitamento energético de coprodutos, seus benefícios e as principais barreiras que restringem seu desenvolvimento no país (EPE, 2018b). No mesmo relatório, consta que o aproveitamento dos coprodutos do manejo florestal, além de serem considerados uma boa prática do ponto de vista ambiental, apresentam potencial para substituição do óleo diesel, que é uma fonte oriundo de produtos fósseis, onerosa e altamente poluidora no abastecimento dos sistemas energéticos isolados dos estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Amapá e Pará. Adicionalmente, uma usina termelétrica abastecida por lenha residual (coprodutos) do manejo florestal, teria capacidade de geração de energia seis vezes maior que a geração a óleo diesel planejada (EPE, 2018b).

Uma vantagem social que merece ser mencionada é que a redução dos níveis de emissão de gases de efeito estufa (queima de óleo diesel e BPF) melhora a qualidade do ar, que está diretamente relacionada à saúde (não só problemas respiratórios) e reduz, consequentemente, os gastos públicos no setor da saúde

(internações e medicamentos) (CIFUENTES et al., 2001; SALDIVA et al., 2005; MIRAGLIA et al., 2005).

Braz et al. (2014) reforçam a necessidade de disseminação de ideias para as empresas florestais sobre a classificação e quantificação de resíduos gerados, o que possibilitará o planejamento do armazenamento, transporte e transformação em coprodutos com valor agregado, nesse caso a lenha e o carvão vegetal.

Os coprodutos florestais constituem parte importante na disponibilidade da biomassa em alguns países, pelas grandes quantidades geradas na colheita e no processamento industrial. Essa fonte energética está encontrando mercado, em consequência do desenvolvimento tecnológico e dos baixos custos que representa sua utilização eficiente (CORTEZ et al., 2008).

A madeira uma vez queimada, gera cinzas em quantidades que podem variar de 0,5% a 5% da massa na base seca. Uma possível alternativa para utilização das cinzas poderá ser avaliada para a correção de solo nas áreas de restauração florestal da própria empresa mineral. Com isso, considerando um percentual de 5%, existe uma estimativa de geração de 27,09 t ha^{-1} de cinzas que podem apresentar elevados teores de potássio, fósforo, cálcio e magnésio, e ser utilizado como adubo e corretivo para o preparo de áreas a serem restauradas.

Os constituintes minerais são principalmente, de sais de cálcio, potássio e magnésio, e sais de outros elementos que estão presentes em menor quantidade. Os radicais ácidos são carbonatos, fosfatos, silicatos, sulfatos e em alguns casos oxalatos. Apesar da composição da cinza ser variável, muitas vezes está composta de 40 a 70% de óxido de cálcio, 10 a 30% de óxido de potássio, 5 a 10% de magnésio e 0,5 a 2% de óxido de ferro. Os óxidos de alumínio, manganês e sódio também estão presentes e análises espectroscópicas indicam a presença de vários outros minerais (BROWNING, 1963).

Lima (2020) concluiu que os resultados obtidos evidenciam o potencial de uso energético dos coprodutos madeireiros do manejo florestal sustentável em sistemas locais de conversão termoquímica na Amazônia. A utilização desses coprodutos contribui para o fortalecimento da sustentabilidade do manejo florestal praticado na Amazônia Brasileira e a diversificação e/ou valoração dos produtos oriundos dessa atividade. Dessa forma, destaca-se a necessidade de inclusão do uso e aproveitamento dos coprodutos no planejamento dos planos de manejo na Amazônia, bem como, a melhor regulação dessa biomassa, ainda considerada

coproduto de baixo valor florestal e comercial, uma vez que as leis brasileiras que regulamentam o aproveitamento energético dessas matérias-primas são frágeis.

Apesar de se tratar de um estudo em área de manejo florestal, pode ser aplicado a outras áreas florestais e outros sistemas de manejo florestal, pois com planejamento da empresa minerária, pode-se aplicar técnicas de manejo florestal de impacto reduzido, com menor dano ambiental e colheita dos produtos e coprodutos florestais, sejam eles madeireiros ou não-madeireiros no interior da unidade de conservação.

Assim, haverá a potencialização do uso racional dos recursos florestais, podendo aproveitar o potencial energético local e dos demais produtos gerados da floresta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do estudo, foi possível avaliar o potencial de energia a ser gerado através da biomassa florestal lenhosa em atividade de mineração localizada no interior de uma Floresta Nacional.

Os resultados demonstraram uma grande oportunidade para utilização da biomassa florestal lenhosa, seja ela em tora (comercial ou não comercial) ou como toras ocadas, toretes, sapopemas, galhos e raízes, visando a otimização dos recursos naturais.

As vinte e cinco (25) espécies mais representativas identificadas no inventário florestal, consideradas não comerciais na região, apresentam uma densidade básica média de 725 kg m^{-3}. O volume com casca – Vcc por hectare encontrado das 25 espécies, representam 28% do volume total identificado no inventário florestal.

Foi identificado um potencial para biomassa lenhosa (coproduto) de 541,72 t ha^{-1} e o potencial energético encontrado foi de 1.747,48 tep ha^{-1}.

A estimativa encontrada para a geração de cinzas foi de 27,09 t ha^{-1}.

Com isso, o trabalho mostra a importância da diversificação da fonte de geração de energia, utilizando de forma racional os recursos naturais existentes na região, acabando por contribuir com uma melhor gestão dos recursos florestais e fomentando o uso de energia renovável.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, AIE. **Nuclear power: sustainability, climate change and competition.** Paris: IEA/OECD, 1998.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift,** v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

AMAYA, A; CORENGIA, M; CUÑA, A; DE VIVO, J; SARACHIK, A; TANCREDI, N. **Preparation of charcoal pellets from Eucalyptus wood with different binders.** Journal of Energy and Natural Resources, v. 4, n. 2, p. 34-39, 2015.

BAUEN, A.; CASERTA, G.; FRANZOSI, M.; HOWES, J.; PRAG, A. **GLOBAL BIOENERGY PARTNERSHIP – GBP**. White Paper. Austria, 2005.

BRAND, A. M. **Energia de Biomassa Florestal.** Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131p.

BRASIL, 2000. **Lei 9.985 de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências**.**

BRASIL, 2002**. Lei 9.648 de 27 de maio de 1998 e alterada pela Lei Federal 10.438 de 26 de abril de 2002**: Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, no 9.648, de 27 de maio de 1998, no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 5.655, de 20 de maio de 1971, no 5.899, de 5 de julho de 1973, no 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências.

BRASIL, 2005. **Lei 9.478 de 06 agosto de 1997, e alterada pela Lei 11.097 de 13 de janeiro de 2005:** Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências.

BRASIL, 2006. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5, DE 11 DE DEZEMBRO DE 2006:** Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável - PMFSs nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal, e dá outras providências.

BRASIL, 2012. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, 28 maio 2012. Seção 1, p.1.

BRASIL. 2018. **Instrução normativa ICMBio nº 01, de 15 de janeiro de 2018**. Ficam estabelecidos os procedimentos para a concessão de Anuência para Autorização para Supressão de Vegetação no interior de unidades de conservação federais para atividades sujeitas ao licenciamento ambiental e para a concessão de

Autorização para Supressão de Vegetação no interior de unidades de conservação federais para atividades não sujeitas ao licenciamento ambiental, nas hipóteses admitidas pela Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, Decreto n° 4.340 de 22 de agosto de 2002 e por seu respectivo Plano de Manejo.

BRASIL. Serviço Florestal Brasileiro. **Dispõe sobe o banco de dados de madeiras do Brasil**, 2016. Disponível em: http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil /pesquisa.php?idioma=portugues. Acesso em: 20 abr. 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Dispõe sobre os fatores de conversão utilizados em medidas para energia elétrica**, 2007. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_fatoresdeconversao_indice.pdf. Acesso em: 20 abr. 2020.

BRASIL. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE. **Instituição responsável pela contabilização e pela liquidação financeira no mercado de curto prazo de energia. A instituição é incumbida do cálculo e da divulgação do Preço de Liquidação das Diferenças - PLD, utilizado para valorar as operações de compra e venda de energia.** Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/ondeatuamos/fontes?_afrLoop=4 41910671865560&_adf.ctrlstate=lwpxaoik4_207#!%40%40%3F_afrLoop%3D441910 671865560%26_adf.ctrl-state%3Dlwpxaoik4_211. Acesso em: 15 mar. 2020.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil:** promulgada em 5 de outubro de 1988.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Florestas do Brasil em Resumo: 2019** - Brasília: MAPA/SFB, 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030** / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. _ Brasília: MME: EPE, 2007. 12 v.: il.

BRAZ, R. L.; NUTTO, L; BRUNSMEIER, M; SILVA, D. **Resíduos da colheita florestal e do processamento da madeira na Amazônia - uma análise da cadeia produtiva**. Journal of Biotecbnology and Biodiversity, v. 5, n. 2, p. 168-181, 2014.

BROWNING, B. **The chemistry of wood**. New York: Interscience. 689 p, 1963.

CIFUENTES, L; BORJA-ABURTO, V H; GOUVEIA, N; THURSTON, G; DAVIS, D L. **Assessing the Health Benefits of Urban Air Pollution Reductions Associated with Climate Change Mitigation (2000-2020):** Santiago, São Paulo, México City, and New York City. Environmental Health Perspectives Volume 109, Supplement 3, Junho 2001.

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O. C.; PECORA, V.; ABREU, F. C. de. **Relatório de Acompanhamento - "Relatório Final de Atividades do Projeto Programa de Uso Racional de Energia e Fontes Alternativas (PUREFA)".** São Paulo. CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa, 2005.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, CPRM. **Mapa Geológico do Estado do Pará 1:1.000.000**. Disponível em: < http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html >. Acesso em: Fevereiro, 2020.

CORTEZ, L. A. B.; BAJAY, S. V.; BRAUNBECK, O. **Uso de resíduos agrícolas para fins energéticos: o caso da palha de cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Energia, Rio de Janeiro, v. 6, n. 01, p.66-81, jan./jun. 1999.

CORTEZ, L. A.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**/ organização. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008.

COSTA, M. L. **Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia.** Revista Brasileira de Geociências. v. 21, n. 2, p. 146-160, 1991.

CRUZ FILHO, D.; SILVA, J.N.M.; **Evaluation of the amount of coarse woody debris in area of logged and undisturbed forests, using line-intercept sampling, in the Médium Moju River, Eastem Amazônia, Brazil,** Acta Amaz. 39 (2009) 527-532. https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000300006

CSANÁDY, E.; MAGOSS, E.; TOLVAJ, L.; **Quality of machined wood surfaces**, Springer International Publishing, New York City, 2015.

DAEMON, R. F. **Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, bacia do Amazonas**. Revista Brasileira de Geociências. v. 5, p. 58-84, 1975.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA SOLOS, EMBRAPA Solos. **O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 67 p. 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE. **Balanço Energético Nacional 2019: Ano base 2018**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 292 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE. **NOTA TÉCNICA EPE 17/18 Potencial Energético de Resíduos Florestais do Manejo Sustentável e de Resíduos da Industrialização da Madeira**. **2018**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 64 p.

FEARNSIDE, P.M.; **Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazônia**, For. Ecol. Manage. 90 (1997) 59-87. https://doi.org/10.1016/s0378-1127(96)038406.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO. 2020. **Global Forest Resources Assessment 2020** – Key findings. Rome.

FRANCEZ, L.M.B.; CARVALHO, J.O.P.; BATISTA, F.J.; JARDIM, F.C.S.; RAMOS, E.M.L.S.; **Effects of the reduced impact logging on the growth phases of a Terra Firme forest in the state of Pará, Brazil**, Ciência Florest. 23 (2013) 743-753.https://doi.org/10.5902/1980509812358

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Atlas Nacional do Brasil. 3ª edição.** Rio de Janeiro: IBGE. 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira.** 2ªed revista e ampliada. 2012. 271p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Mapa da vegetação brasileira. 3ª edição**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, IBAMA. **Plano de Manejo da Floresta Nacional de Saracá-Taquera, Estado do Para, Brasil**, Sumário Executivo, Curitiba, Paraná (paginado por capítulo), 2001.

INSTITUTO NATUREZA AMAZÔNICA – INAM. **Relatório do Inventário Florestal Amostral do Platô Monte Branco. Porto Trombetas, Oriximiná,** Estado do Pará. Maio de 2010.

KELLER, M.; PALACE, M.; ASNER, G.P.; PEREIRA JR., R.; SILVA, J.N.M. **Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastem Brazilian Amazon,** Glob. Chang. Biol. v.10. p.784-795. 2004. https://doi.Org/10.llll/j.1529-8817.2003.00770.x.

LIMA, M. D. R. **A segregação de resíduos do manejo florestal sustentável para otimização da produção bioenergética na Amazônia brasileira**. PA. 2020. 206f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia. 2020.

MIRAGLIA, S. G.; SALDIVA, P.H.; BOHM, G.M. **An evaluation of air pollution health impacts and costs in Sao Paulo, Brazil.** Environ Manage. v.35(5). P. 667-776. 2005.

MÜLLER, M. D. **Produção de madeira para Geração de Energia Elétrica numa Plantação Clonal de Eucalipto em Itamarandiba**, MG. 2005. 94f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.

NHUCHHEN, D. R.; AFZAL, M. T. **HHV predicting correlations for torrefied biomass using proximate and ultimate analyses.** Bioengineering, v. 4, n. 1, p. 7, 2017

NOGUEIRA, E.M.; NELSON, B.W.; FEARNSIDE, P.M. **Wood density in dense forest in central Amazônia, Brazil**, For. Ecol. Manage. v.208. p.261-286. 2005. https://doi.Org/10.1016/j.foreco.2004.12.007.

NUMAZAWA, C.T.D.; NUMAZAWA, S.; PACCA, S.; John, Y.M. **Logging residues and CO2 of Brazilian Amazon timber: two case studies of forest harvesting**, Resour. Conserv. Recycl. v.122. p.280-285. 2017. https://doi.Org/10.1016/j.resconrec.2017.02.016.

PATINO, S.; LLOYD. J.; PAIVA, R.; BAKER, T.R.; QUESADA, C.A.; MERCADO, L.M.; SCHMERLER, J.; SCHWARZ. M.; SANTOS, A.J.B.; AGUILAR, A.; CZIMCZIK, C.I.; GALLO, J.; HOMA, V.; HOYOS, E.J.; JIMENEZ, E.M.; PALOMINO, W.; PEACOCK, J.; PENA-CRUZ, A.; SARMIENTO, C.; SOTA, A.; TURRIAGO, J.D.; VILLANUEVA, B.; VITZTHUM, P.; ALVAREZ, E.; ARROYO, L.; BARALOTO, C.; BONAL, D.; CHAVE, J.; COSTA, A.C.L.; HERRERA, R.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T.; LEAL, E.; LUIZAO, F.; MEIR, P.; MONTEAGUDO, A.; NEIL, D.; NÚNEZ-VARGAS, P.; PENUELA, M.C.; PITMAN. N.; PRIANTE Filho, N.; PRIETO, A.; PANFIL, S.N.; RUDAS, A.; SALOMAO, R.; SILVA, N.; SILVEIRA. M.; SOARES, S; DEALMEIDA, TORRES-LEZAMA, A.; VÁSQUEZ-MARTÍNEZ, R.; VIEIRA, I.; MALHI, Y.; PHILLIPS, O.L. **Branch xylem density variations across the Amazon Basin**, Biogeosciences. 6 (2009) 545-568. https://doi.org/10.5194/bg-6-545-2009.

RADAMBRASIL. Folha SA.21 - Santarém. **Ministério de Minas e Energia/Departemento Nacional de Produção Mineral.** Projeto Radam. Rio de Janeiro, v.10. p. 310-414. 1976.

RODRIGUES, T. O.; ROUSSET, P. L. A. **Effects of torrefaction on energy properties of Eucalyptus grandis wood.** Cerne, v. 15, n. 4, p. 446-452, 2009.

ROSÁRIO, L. M. **Briquetagem visando utilização de resíduos de uma serraria**, ES. 2011. 37f. (Monografia Engenharia Industrial Madeireiro) - Universidade Federal do Espirito Santo. 2011".

RUIVO, M. L; P.; SCHAEFER, C. E. R.; BARROS, N. F.; ALBUQUERQUE, M. A.; RIBEIRO, L. M. **Caracterização micropedológica de solos reabilitados após exploração de bauxita em Porto Trombetas (PA).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, p. 759-767, 2002.

RUSSELL, A.E.; KUMAR, B.M. **Forestry for a low-carbon future: integrating forests and wood products into climate change strategies**, Environ. Sei. Policy Sustain. Dev. 59 (2017) 16-23. https://doi.org/10.1080/00139157.2017.1274580

SALDIVA, P.H et al. **Related Articles, Links Decreased fertility in mice exposed to environmental air pollution in the city of Sao Paulo** - Environ Res. 2005 Jun;98(2):196-202. PMID: 15820725, 2005.

SALOMÃO, R. P. **Restauração Florestal de precisão: dinâmica e espécies estruturantes – Evolução de áreas restauradas em uma unidade de conservação na Amazônia – Porto Trombetas, Pará**. Saarbrücken: Novas Edições Acadêmicas, 2015.

SALOMÃO, R. P.; MATOS, A. H. de M. **Plano de Exploração Florestal em 160 hectares de Floresta Tropical Primária Densa, Platô Aviso,** Floresta Nacional de Saraca- Taquera/IBAMA, Porto Trombetas, Oriximiná. MRN: Porto Trombetas, Oriximiná-PA, 75 p. 2002.

SALOMÃO, R. P.; ROSA, N.A.; MORAIS, K.A.C.; GOMES, V. H. F. **Dinâmica da regeneração natural de espécies arbóreas em área de mineração na Amazônia**. In: Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, 7. Anais ...Curitiba: FUPEF. v.Único. p.555 – 566. 2008.

SILVA, D. A.; ALMEIDA, V.; VIANA, L.; MUNIZ, G.; KLOCK, U. **Avaliação das Propriedades Energéticas de Resíduos de Madeiras Tropicais com Uso da Espectroscopia NIR.** Floram. 2014

SILVA, M. G.; NUMAZAWA, S.; ARAUJO, M.; NAGAISHI, T.; GALVÃO, G. **Carvão de resíduos de indústria madeireira de três espécies florestais exploradas no município de Paragominas, PA**. Acta Amazônica, v. 37, n. 1, p. 61-70, 2007.

SILVEIRA, L.H.C.; REZENDE, A.V.; VALE, A.T. **Moisture content and basic wood density of nine commercial Amazonian tree species,** Acta Amaz. 43 (2013) 179-184. https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000200007

STCP ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA., 2014. **Quantificação do Resíduo Florestal**. Estudo solicitado pela MRN.

UHLIG, A.; GOLDEMBERG, J.; COELHO, S.T. **O uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira e o impacto sobre as mundanças climáticas**, Rev. Bras. Energ. 14(2008)67-85.

VINDEL, S.M.H.; CAMPOS, S.; SPADOTTO, A.J.; GARCIA, Y.M. **Comparison of energy consumption by the brazilian and honduran energy matrix sector and its dependence of non-renewable energy,** Energ. Na Agric. 33 (2018) 352-357. http s: //doi. org/10.17224/Energ Agri c. 2 018 v3 3n4p352-357.

WELFLE, A. **Balancing growing global bioenergy resource demands - Brazifs biomass potential and the availability of resource for trade**. Biomass and Bioenergy, v. 105, p. 83-95,2017.