



sidac

sistema de informação
do desempenho ambiental
da construção

Relatório de coleta de dados

MADEIRA



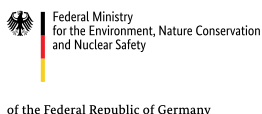
sidac

sistema de informação
do desempenho ambiental
da construção

Relatório de coleta de dados

MADEIRA

Apoio



Cooperação técnica



Coordenação



Essa publicação foi organizada com o apoio financeiro do Instrumento de Parceria da União Europeia com o Ministério Federal Alemão para o Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) no contexto da Iniciativa Climática Internacional (IKI). O conteúdo dessa publicação é de inteira responsabilidade dos seus organizadores e não necessariamente reflete a visão dos financiadores.

SUPERVISÃO DA COLETA DE DADOS

Me. Fernanda Belizario Silva (IPT)

Me. Lidiane Santana Oliveira (USP)

Dr. Daniel Costa Reis (USP)

EQUIPE RESPONSÁVEL PELA COLETA DE DADOS DE TORAS DE MADEIRA E MADEIRA SERRADA BRUTA E APLAINADA¹

Cássio Gomes de Oliveira (UNILA): levantamento de dados, análise dos dados, inserção dos dados no sistema, relatório

Me. Anna Claudia Fischer (UFPR): levantamento de dados, análise dos dados, relatório

Me. Camila Yara dos Santos Sanchotene (UFPR): levantamento de dados, análise dos dados

Prof^a. Dr. Sérgio Fernando Tavares (UFPR): apoio

Prof^a. Dr^a. Katia Regina Garcia Punhagui (UNILA): análise dos dados, supervisão

Como citar este documento:

OLIVEIRA, C. G.; FISCHER, A. C.; SANCHOTENE, C. Y. S.; TAVARES, S. F.; PUNHAGUI, K. R. G. Relatório de coleta de dados para o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção: Toras de madeira, madeira serrada bruta e madeira serrada aplainada. São Paulo: Sidac, 2022.

¹ Declaração de crédito dos autores: levantamento de dados: levantamento de dados de inventário de ciclo de vida dos produtos (primários ou secundários); análise dos dados: compilação e análise dos dados de inventário de ciclo de vida dos produtos; inserção dos dados no sistema: cadastro dos processos elementares no Sidac; relatório: elaboração do relatório de coleta de dados; supervisão: supervisão da coleta e análise dos dados de inventário de ciclo de vida dos produtos; apoio: apoio às atividades do projeto.

Sumário

1	Introdução	1
2	Elaboração do processo elementar	1
2.1	Descrição dos produtos	1
2.2	Fluxograma do processo elementar	2
2.3	Descrição do processo elementar	4
2.4	Fontes de dados	11
2.5	Alocação	14
3	Métodos de cálculo e considerações.....	14
3.1	Considerações Gerais	14
3.2	Métodos de cálculo	14
3.3	Análise de incertezas	18
3.4	Itens desconsiderados	19
4	Inventário dos processos elementares	19
5	Análise dos indicadores	20
5.1	Indicadores de toras de madeira	21
5.2	Indicadores de madeira serrada bruta e aplainada	22
6	Considerações finais	24
7	Referências	24
8	Apêndices	34
8.1	Apêndice A - Detalhamento das considerações sobre o ponto de saturação das fibras (PSF) 34	
8.2	Apêndice B - Verificação das informações disponíveis nas referências consultadas	36

1 Introdução

O objetivo deste relatório é apresentar os procedimentos adotados na coleta dos dados genéricos da produção de toras de madeira e de madeira serrada de florestas nativas (espécies diversas) e de florestas plantadas de pinus e eucalipto, realizada com base em literatura nacional. São apresentados os fluxogramas do processo elementar da produção de toras e de madeira serrada de florestas nativas e plantadas, considerando a fronteira do berço ao portão (*cradle to gate*). São reportadas as atividades de colheita²/extração³ florestal, transporte de toras até a serraria, e atividades do portão ao portão da serraria (*gate to gate*), os dados qualitativos e quantitativos (fluxos de entrada e saída) que descrevem esse processo, bem como todas as conversões realizadas para adequação dos dados ao Sidac.

2 Elaboração do processo elementar

2.1 Descrição dos produtos

Neste item são apresentados produtos de madeira: toras, madeira serrada bruta e madeira serrada apainada (Figura 1).



Figura 1 – Ilustrações de toras de madeira e madeira serrada bruta e apainada: a) pilha de toras de madeira; b) madeira serrada bruta (REMADE, 2020); c) madeira serrada apainada (REMADE, 2020).

Toras de madeira são segmentos de tronco de árvores, neste caso com interesse comercial, que podem ser obtidas de florestas nativas ou plantadas. As toras de origem nativa podem vir de um manejo florestal com base na Instrução Normativa (IN) nº 5, de 11 de dezembro de 2006 e IN nº 2, de 27 de junho de 2007, do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2006; BRASIL, 2007 a), certificada, ou não, conforme as diretrizes estabelecidas pelo *Forest Stewardship Council (FSC)* ou outra certificadora (não considerada neste momento pelo Sidac), ou extraídas de áreas de mata nativa sem manejo. As toras de floresta plantada provêm de áreas cultivadas por meio de plantio de mudas, atendendo a um plano de manejo com práticas silviculturais.

A **madeira serrada** é o produto do processamento mecânico de toras de madeira em unidades industriais (serrarias), que transforma a tora em peças quadrangulares ou retangulares. Para o Sidac, consideram-se dois tipos de madeira serrada: bruta e apainada. A **madeira serrada bruta** passa pelos processos de desdobro⁴ e destopo⁵. A **madeira serrada apainada** passa por um processo adicional de apainamento (regularização da superfície). Tanto a madeira serrada bruta quanto a apainada podem ser secas em estufa ou ao ar livre.

² Refere-se à madeira plantada. É o conjunto de operações do corte ao transporte da madeira produzida a partir de atividade de cultivo (silvicultura) de monoculturas com espécies exóticas (ex.: pinus e eucalipto) (PIRES *et al.*, 2018).

³ Refere-se à madeira nativa. É a exploração madeireira com aproveitamento de espécies de maior interesse comercial (manejo florestal, desmatamento) (PIRES *et al.*, 2018).

⁴ Transformação das toras em peças de seção retangular.

⁵ Corte das peças no comprimento desejado.

Os produtos reportados neste relatório foram agrupados segundo sua procedência: a) madeira nativa proveniente de floresta com manejo; b) madeira nativa proveniente de floresta sem manejo; c) madeira nativa proveniente de floresta com manejo e certificação *FSC*; d) madeira plantada proveniente de silvicultura. A categorização resultante dos produtos está disposta na Tabela 1 onde estão os produtos agrupados, separados por sua origem, fronteira do sistema e unidade declarada no Sidac.

Tabela 1 - Agrupamento dos produtos de madeira considerados nesta versão do Sidac conforme origem, fronteira do processo e unidade declarada

	ORIGEM	NOME DO PRODUTO	ORIGEM	FRONTEIRA DO SISTEMA	UNIDADE DECLARADA
T O R A	NATIVA	Tora	Sem manejo	Berço-ao-portão	m ³ verde
		Tora	Com manejo	Berço-ao-portão	m ³ verde
		Tora	Certificada <i>FSC</i>	Berço-ao-portão	m ³ verde
	PLANTADA	Tora - pinus	Silvicultura	Berço-ao-portão	m ³ verde
		Tora - eucalipto	Silvicultura	Berço-ao-portão	m ³ verde
M A D E I R A S E R R A D A	NATIVA	Madeira serrada bruta seca ao ar	Sem manejo	Portão-ao-portão	m ³ verde – m ³ seco ao ar 16%
		Madeira serrada aplainada seca ao ar	Sem manejo	Portão-ao-portão	m ³ verde – m ³ seco ao ar 16%
		Madeira serrada bruta seca ao ar	Com manejo	Portão-ao-portão	m ³ verde – m ³ seco ao ar 16%
		Madeira serrada aplainada seca ao ar	Com manejo	Portão-ao-portão	m ³ verde – m ³ seco ao ar 16%
		Madeira serrada bruta seca ao ar	Certificada <i>FSC</i>	Portão-ao-portão	m ³ verde – m ³ seco ao ar 16%
		Madeira serrada aplainada seca ao ar	Certificada <i>FSC</i>	Portão-ao-portão	m ³ verde – m ³ seco ao ar 16%
	PLANTADA	Madeira serrada bruta seca em estufa – pinus	Silvicultura	Portão-ao-portão	m ³ verde – m ³ seco em estufa 12%
		Madeira serrada aplainada seca em estufa – pinus	Silvicultura	Portão-ao-portão	m ³ verde – m ³ seco em estufa 12%

2.2 Fluxograma do processo elementar

2.2.1 Produtos de florestas nativas: toras e madeira serrada

As **toras** de madeira nativa foram consideradas com três origens, ou formas de exploração florestal: a extração de madeira sem manejo florestal, com manejo florestal e com manejo florestal e certificação *FSC*. O fluxograma do processo elementar considera os limites do sistema do “berço ao portão” (*cradle to gate*) (Figura 2). As peculiaridades de cada atividade de extração florestal são descritas no item “2.1 Descrição dos produtos”.

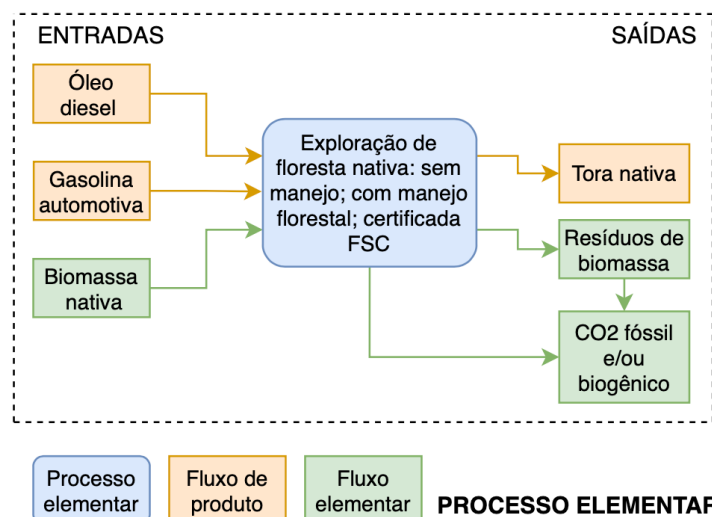


Figura 2 - Processo elementar da produção de tora de madeira nativa, considerando a origem da madeira.

A produção de **madeira serrada** considerou que uma mesma serraria pode processar toras provenientes dos três sistemas de exploração florestal. Isto porque os estudos levantados não forneceram informações suficientes para definir a origem da tora nativa. A Figura 3 apresenta o fluxograma da produção da madeira nativa serrada bruta ou aplainada e os fluxos considerados na primeira versão do Sidac. A diferença entre o fluxograma da **madeira serrada bruta e aplainada** são os tipos de resíduos. Na primeira foram considerados casca, cavaco, serragem e pó-de-serra; enquanto na segunda soma-se a maravalha resultante do processo de aplainamento.

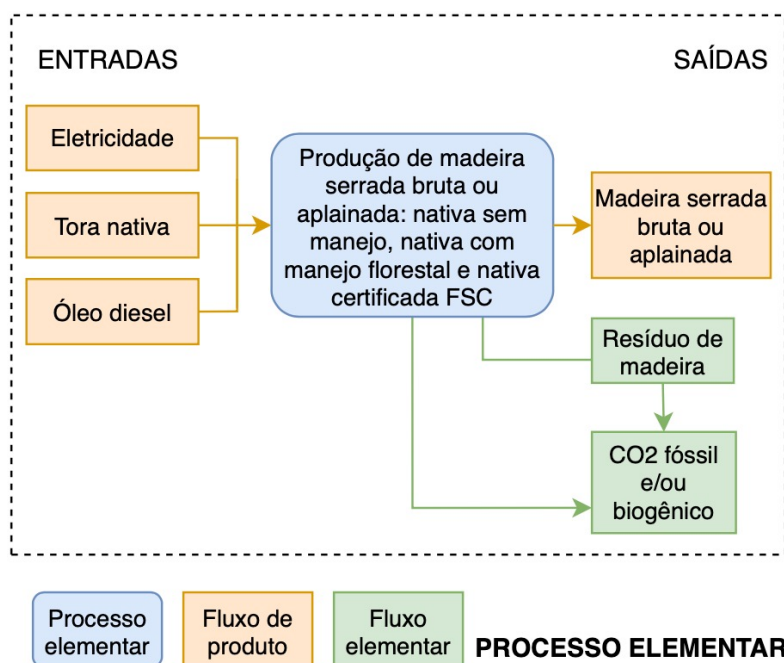


Figura 3 - Processo elementar da produção de madeira nativa serrada bruta ou aplainada

2.2.2 Produtos de florestas plantadas: tora e madeira serrada

As **toras** de madeira plantada são de duas espécies: pinus e eucalipto. O fluxograma do processo elementar considera os limites do sistema do “berço ao portão” (*cradle to gate*) (Figura 4).

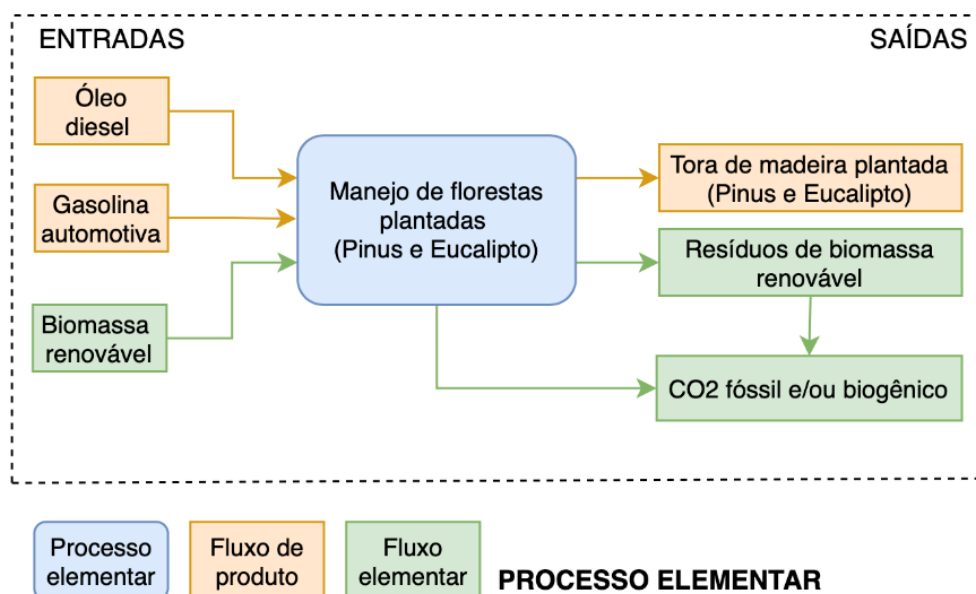


Figura 4 - Processo elementar da produção de tora de madeira plantada.

O fluxograma para a produção de **madeira plantada serrada** de pinus considera o limite do sistema do “portão ao portão” (*gate-to-gate*) (Figura 5). O processo elementar da **madeira plantada serrada bruta e aplainada** é praticamente o mesmo, com exceção da etapa de aplainamento para o último produto. Os coprodutos resultantes são casca, cavaco, serragem, pó-de-serra e maravalha (esta, apenas para madeira serrada aplainada).

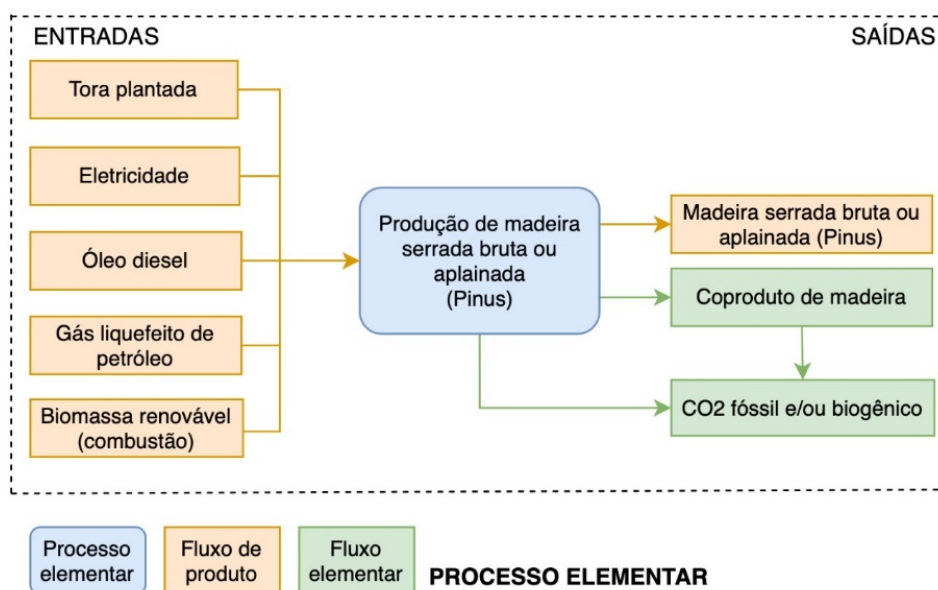


Figura 5 - Processo elementar da produção de madeira plantada serrada bruta e aplainada.

2.3 Descrição do processo elementar

2.3.1 Produção de tora de madeira nativa

Neste item são detalhadas as diferenças nos sistemas de exploração florestal para a produção de tora de madeira nativa, segundo denominações estabelecidas para a primeira versão do Sidac.

“**Madeira nativa sem manejo**” é a madeira extraída de forma ilegal, sem planejamento e atenção a critérios mínimos que possibilitem a recuperação da mata nativa (ESPADA *et al.*,

2016). Neste tipo de exploração considera-se que não há reconstituição da floresta após a extração (CAMPOS; PUNHAGUI; JOHN, 2021); pois, além dos consideráveis danos à floresta devido à falta de planejamento, supressão da mata para construção da infraestrutura, derrubada e arraste das toras (ESPADA *et al.*, 2016), há a redução da biomassa florestal pelas subsequentes atividades (agropecuária) que impossibilitam a recomposição da floresta.

A exploração sem manejo inicia-se pela identificação das árvores de interesse comercial, seguida pela abertura de caminhos de acesso, pátios de estocagem e estradas para transporte das toras extraídas. Nestas atividades são comumente usados *bulldozers* e *skidders* (a diesel) e motosserra (a gasolina) (PUNHAGUI, 2014; UHL *et al.*, 1991).

A extração da árvore é caracterizada por excesso de desperdício devido ao corte sem técnica adequada e até mesmo esquecimento do produto na mata (HOLMES; BLATE; ZWEEDE, 2004). Os resíduos (Figura 6) oriundos da derrubada, transformação da árvore em tora (galhos, folhas, tocos, sapopema), arraste das toras e construção de infraestrutura de apoio são deixados na floresta para decomposição (PUNHAGUI, 2014; VERISSIMO *et al.*, 1992).



Figura 7 - Resíduos gerados pela extração de toras sem manejo (NUMAZAWA, 2014).

Após a remoção das árvores de interesse comercial, usualmente ocorre o desmatamento e destruição da biomassa remanescente pelo fogo para abertura de áreas para pastagens e, posteriormente, agricultura (Figura 8) (ASNER *et al.*, 2006; CEDERBERG *et al.*, 2011; FEARNSSIDE; INSTITUTO, 2005; LAURANCE; COCHRANE *et al.*, 2001; NEPSTAD *et al.*, 1999; PINHEIRO *et al.*, 2016; VAN GARDINGEN; VALLE; THOMPSON, 2006). Como consequência, o carbono que estava incorporado na biomassa florestal é liberado e não volta a ser capturado, uma vez que a floresta não se recompõe; aumentado a concentração de CO₂ na atmosfera. Portanto, a biomassa é considerada como **não renovável, fonte de carbono, contabilizada nas emissões de CO₂**.



a)



b)

Figura 8 - Agricultura e pecuária na região da Amazônia legal: a) plantação de soja ao lado da floresta amazônica (STEINMETZ, 2019); b) pastagem para criação de gado ao lado de reserva indígena em Rondônia (UCHIDA, 2019).

“Madeira nativa certificada FSC” é a aquela proveniente de exploração de baixa intensidade e que adota técnicas de **Extração de Impacto Reduzido (EIR)**, segundo critérios da certificação

Forest Stewardship Council (FSC), como: macroplanejamento⁶ e microplanejamento⁷ da exploração; atividades de exploração dos recursos florestais⁸; atividades pós-exploratórias⁹ (ESPADA *et al.*, 2016; VIDAL *et al.*, 1997).

A EIR prevê inicialmente o mapeamento e inventário botânico de 100% das árvores de interesse comercial, planejamento detalhado da exploração florestal, execução de infraestrutura (estradas, vias de acesso, pátios de armazenagem) com menor impacto na floresta, e uso de recursos humanos qualificados (Figura 9). Tais premissas da EIR, quando comparado à "madeira nativa sem manejo", resultam em redução do número de toras não aproveitadas pela indústria (57,9%); do desperdício por rachaduras nas toras (64,4%); do desperdício por corte alto (64,3%); de árvores inutilizadas nos pátios de estocagem (69,5%) (ESPADA *et al.*, 2016; HOLMES; BLATE; ZWEEDE, 2004; LENTINI *et al.*, 2002).



Figura 9 - Comparação da abertura de copas em áreas com diferentes tipos de exploração de toras (FFT; CIKEL BRASIL VERDE; PRECIOUS WOOD, s. d.): a) exploração sem manejo; b) exploração de impacto reduzido.

A remoção da árvore inicia-se com a execução de ramais para arraste das toras aos pátios de estocagem na floresta, feito com equipamentos à diesel. Realiza-se o corte direcional das árvores (motosserra à gasolina) de modo a danificar o mínimo possível da floresta em seu entorno. O corte somente é realizado depois do teste de oco e da avaliação do potencial de rendimento da tora, excluindo as toras com rendimento inadequado. Realiza-se o corte com técnicas específicas para cada espécie. As árvores são destopadas com técnicas que levam em consideração o maior aproveitamento do material conforme o objetivo de uso (NOGUEIRA *et al.*, 2011). As toras são arrastadas ao pátio por meio de *skidders* (à diesel), através de trilhas de arraste (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996). Estas trilhas são planejadas, mapeadas e devidamente sinalizadas, reduzindo os danos de supressão da floresta. As máquinas que arrastam as toras ao pátio seguem técnicas de diminuição de danos tanto ao solo quanto às árvores ao redor. Chegando ao pátio, as toras são estocadas e devidamente identificadas para rastreabilidade.

Os resíduos das atividades florestais geralmente ficam na floresta para decomposição (FELDPAUSCH *et al.*, 2005; JOHNS; BARRETO; UHL, 1996). Adicionalmente à EIR, a "Madeira nativa certificada FSC" reportada no Sidac considera a extração de baixa intensidade, que se

⁶ Dimensionamento e definição: das áreas aptas; do potencial florestal (amostras, espécies, dimensões, volumes etc.); das estratégias de gerenciamento; das Unidades de Produção Anual (UPAs); das infraestruturas gerais; e dos recursos humanos.

⁷ Dimensionamento e definição: das Unidades de Trabalho (UTs); dos censos florestais completos; do tratamento e análise dos dados e confecção de mapas.

⁸ Contempla: teste do oco; abertura dos caminhos de fuga; corte direcional das árvores; destopo e arraste das toras por caminhos devidamente mapeados e sinalizados; rastreabilidade das toras estocadas no pátio.

⁹ Contempla: manutenção de infraestruturas; avaliação de danos e desperdícios da exploração; inventário contínuo; silvicultura pós-colheita; medidas de proteção florestal.

caracteriza pela quantidade de madeira extraída inferior à $15 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ entre ciclos de corte (25-35 anos) (BRASIL, 2006) para florestas com características semelhantes às demonstradas na literatura científica (MAZZEI *et al.*, 2010; NUMAZAWA *et al.*, 2017), e a certificação FSC. Estas três condições agrupadas são consideradas no Sidac como o cenário atual com melhores possibilidades de manutenção da floresta e seu potencial produtivo. Admite-se que toda a biomassa explorada é recuperada dentro do período entre ciclos de corte estabelecido no plano de manejo. Portanto, é considerada como **biomassa renovável, neutra em carbono, com emissões nulas de CO_2** .

“**Madeira nativa com manejo florestal**” é a madeira proveniente de área de manejo florestal cuja intensidade de exploração não é baixa o bastante para que se garanta a recuperação total da biomassa florestal dentro do período entre ciclos de corte proposto no plano de manejo florestal. Foram consideradas florestas nativas com manejo aquelas com período entre ciclo de exploração de 30 anos¹⁰ e intensidade de corte superior a $15 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$. As atividades de extração de toras de madeira seguem critérios estabelecidos na Instrução Normativa MMA nº 5 de 11/12/2006 (BRASIL, 2006) e Resolução CONAMA nº 406 de 02/02/2009 (BRASIL, 2009), que demandam a elaboração e aplicação de Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) e o Plano Operacional Anual (POA). Para o manejo são utilizados os mesmos equipamentos e fontes energéticas de outros tipos de extração, contudo, devem-se seguir critérios estabelecidos dentro no PMFS e POA, intensidade máxima de extração florestal de $30 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, com ciclos de corte de 25-35 anos e diâmetro mínimo à altura do peito (DAP) de 50 cm.

A literatura científica nacional levantada demonstra que mesmo estando dentro destes parâmetros definidos por lei, a recuperação da biomassa pode não ser total (MAZZEI *et al.*, 2010; NUMAZAWA *et al.*, 2017). Foram consideradas parcialmente renováveis, pois identificou-se na literatura (KELLER *et al.*, 2004; NUMAZAWA *et al.*, 2017; SIST; FERREIRA, 2007; VAN GARDINGEN; VALLE; THOMPSON, 2006) que áreas com manejo, mesmo de Extração de Impacto Reduzido, podem não recuperar na totalidade a biomassa perdida na exploração florestal. A recuperação integral da floresta pós-corte depende de diversas variáveis, entre elas o tempo entre ciclos de corte, a quantidade de biomassa acima do solo (BAS), a intensidade de corte, e capacidade regenerativa da floresta (MAZZEI *et al.*, 2010; VAN GARDINGEN; VALLE; THOMPSON, 2006).

Por esse motivo, para o Sidac, considerou-se a intensidade de exploração superior à capacidade regenerativa da floresta para períodos entre ciclos mínimos (25 - 35 anos) (BRASIL, 2006). Assim, a biomassa foi considerada **parcialmente renovável**, em que a **parte que se regenera é renovável, neutra em carbono e nula em emissões de CO_2** , e a **parte que não se regenera é não renovável, fonte de carbono e contabilizada nas emissões de CO_2** .

2.3.2 Produção de madeira nativa serrada bruta

O processo de produção da madeira serrada bruta é reportado para todas as origens de toras nativas descritas no item 2.3.1.

A produção de madeira nativa serrada bruta inclui as seguintes etapas: recebimento de toras no pátio, alimentação da linha de produção com toras, desdobro primário e secundário. As movimentações no pátio e a alimentação da linha de produção são feitas por máquinas à diesel (ex.: tratores, guias, guinchos, *log lifters*) (DE LIMA *et al.*, 2020; DE MELO *et al.*, 2019; MOTA, 2018; ROMERO *et al.*, 2020; VERISSIMO *et al.*, 1992). O desdobro primário inicia-se pelo corte de toras em serra fita para retirada das costaneiras (Figura 10), realizando o processo de transformação das toras em blocos e semiblocos.

¹⁰ Conforme metodologia Sidac que adota a média entre os 25 e 35 anos requeridos pela Instrução Normativa MMA nº 5 de 11/12/2006 e Resolução CONAMA nº 406 de 02/02/2009.



Figura 10 - Processamento de tora por serra fita (MOTA, 2018).

Os blocos de madeira são submetidos ao desdobro secundário, no qual são cortados em tábuas e vigas por serras de mesa (circulares ou pendulares) e na sequência passam pelo processo de destopo, que é o corte no comprimento da peça (Figura 11).



a)



b)

Figura 11 - Processamento da madeira: a) serra circular de mesa (MOTA, 2018); b) resíduos da serraria (PUNHAGUI, 2014).

São produzidas peças serradas brutas de diferentes dimensões, conforme as demandas de mercado (ZENID, 2009). Os resíduos de madeira gerados no processo (casca, cavaco, serragem, pó de serra) são descartados ou doados. (DE LIMA *et al.*, 2020; GARCIA, 2013; MENDOZA; BORGES; PIERIN, 2017; MOTA, 2018; ROMERO *et al.*, 2020).

2.3.3 Produção de madeira nativa serrada aplainada

O processo de produção da madeira serrada aplainada é reportado para todas as origens de toras nativas descritas no item 2.3.1. As etapas de produção são as mesmas da madeira serrada bruta com a adição do aplainamento, que serve para regularização das superfícies e emprega plainas alimentadas por energia elétrica.

Para esta fase do Sidac, considerou-se que o aplainamento é feito na mesma unidade onde ocorre o processamento primário. A madeira serrada aplainada pode ser seca ao ar livre ou em estufa; porém, neste momento, por inexistência de informações na bibliografia levantada, considerou-se apenas aquelas secas ao ar.

Assim como explicado no processo elementar da madeira serrada bruta, não foi adotada uma padronização no dimensionamento (PUNHAGUI, 2014). Os resíduos produzidos neste processo podem ser descartados, reaproveitados pela empresa ou doados para usos diversos (DE LIMA

et al., 2020; GARCIA, 2013; MENDOZA; BORGES; PIERIN, 2017; MOTA, 2018; ROMERO *et al.*, 2020).

2.3.4 Produção de toras de madeira plantada

Produção de tora de madeira plantada envolve as etapas de produção de mudas, preparo do solo, plantio, condução da floresta, colheita e carregamento de toras para transporte. Os dados apresentados no Sidac referem-se à etapa de colheita florestal, que envolve as atividades de corte das árvores e remoção de toras da floresta. O corte é quase totalmente feito por máquinas *Harvesters* (à diesel), que processam as árvores em toras e toretes, organizando-os em feixes (Figura 12 - a). Em alguns casos o corte pode ser feito por motosserras (à gasolina) ou *feller* (à diesel).



Figura 12 - Máquinas utilizadas nas colheitas de florestas plantadas: a) Harvester; b) Forwarder.

O baldeamento da madeira até os caminhões de transporte ou então para locais de armazenamento é feito por equipamentos chamados *Forwarders* (diesel) (Figura 12 - b). Também podem ser usados *loaders*, *winches*, *shovel loggers*, ou *muncks* (PUNHAGUI, 2014). Parte da biomassa florestal - como copa, galhada, raízes e tocos - tipicamente permanecem na floresta para ciclagem dos componentes.

2.3.5 Produção de madeira plantada serrada bruta

A produção de madeira plantada serrada bruta inclui recebimento de toras no pátio, alimentação da linha de produção com toras (ex.: esteiras, carro porta-toras) (Figura 13 - a), descascamento, desdobro primário, desdobro secundário, secagem, remanufatura (destopo), embalagem e expedição.

As movimentações no pátio de toras e a alimentação da linha de produção são feitas por máquinas à diesel (ex.: tratores, guias, guinchos, *log lifters* etc.), as toras são descascadas (facas - eletricidade) (Figura 13 - b), e submetidas ao processo de desdobro (serras - eletricidade), que é dividido em duas etapas: desdobro primário e secundário. O desdobro primário inicia-se pelo corte da tora em serras circulares, e posteriormente por serras fitas que realizam o corte lateral da tora, resultando em bloco central e tábuas laterais (Figura 13 - c).



Figura 13 - Processamento da madeira serrada: a) alimentação de toras na linha; b) tora após descascamento; c) desdobro primário da tora.

O desdobro secundário é o corte do bloco central e das tábuas laterais. O desdobro secundário das tábuas laterais envolve o corte de tábuas por serras circulares em peças de menor seção, que na sequência passam pelo processo de destopo. O desdobro secundário do bloco central é geralmente feito por serras circulares múltiplas, que dividem o bloco em tábuas laterais e medula central. As tábuas refiladas e a medula central são direcionadas para a resserra, e o bloco de medula central passa por corte por serra fita vertical.

As peças são classificadas e direcionadas para o pátio de armazenamento de madeira verde, e então para as estufas ou fornos de secagem. Na sequência, a secagem do material em estufa (combustão de biomassa renovável de madeira) é conduzida. Após a secagem, os fardos de madeira são desgradeados e a madeira serrada é eventualmente encaminhada para um novo destopo, para atendimento às medidas em demanda de produção. Por fim, a madeira é organizada em fardos que são encaminhados para a expedição. Os transportes internos podem ser feitos por correntes transportadoras (linha de produção - eletricidade) e por empilhadeiras (gás liquefeito de petróleo - GLP) (Figura 14).



Figura 14 - Transportes internos da serraria: a) empilhadeira; b) correntes transportadoras.

Os coprodutos de madeira gerados no processo (casca, cavaco, serragem e pó de serra) (Figura 15), são geralmente destinados à recuperação energética em processo de secagem, ou à venda.

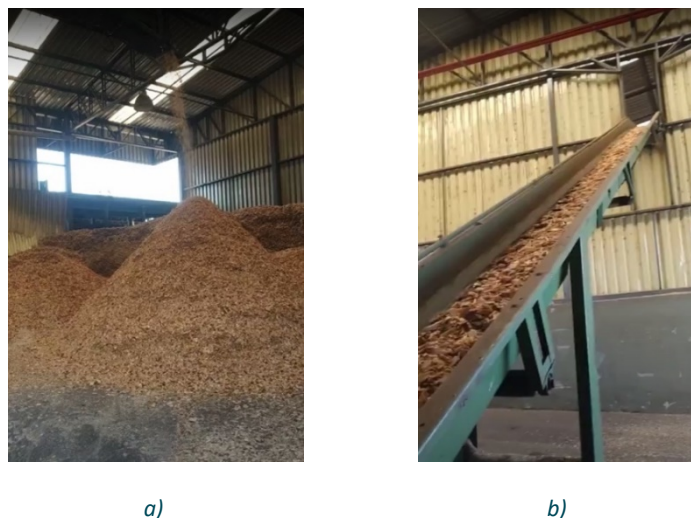


Figura 15 - Coprodutos de madeira: a) serragem; b) cavaco.

2.3.6 Produção de madeira plantada serrada aplainada

Os mesmos processos indicados para a produção de madeira bruta são considerados para produção de madeira serrada aplainada, com o incremento do processo de aplainamento. Este é feito após a secagem, em plainas (à eletricidade), e o resíduo deste processo é chamado de maravalha. Por fim, a madeira é organizada em fardos que são encaminhados para a expedição. Os transportes internos podem ser feitos por correntes transportadoras (linha de produção - eletricidade) e por empilhadeiras (GLP). Os coprodutos de madeira gerados no processo (casca, cavaco, serragem, pó de serra e maravalha) são usualmente destinados à recuperação energética em processo de secagem, ou à venda.

2.4 Fontes de dados

2.4.1 Tora de madeira nativa

A literatura utilizada para estimar os indicadores genéricos das entradas e saídas das toras de madeira nativa apresentados no Sidac contou com as fontes listadas nos parágrafos a seguir.

Tese de doutorado (PUNHAGUI, 2014) que apresenta dados primários de ciclo de vida junto a empresas de extração florestal de madeira nativa no Brasil. O estudo estima consumo de diesel e gasolina relacionados a atividade de extração das toras de interesse comercial e transporte destas dentro da floresta.

Artigo científico (VERISSIMO *et al.*, 1992), com os resultados de um levantamento de dados primários para análise econômica junto a 238 empresas de extração florestal de madeira nativa em Paragominas - Pará, no Brasil. O artigo estima fluxos energéticos e de biomassa (resíduos) relacionados às atividades florestais.

Artigo científico (CAMPOS; PUNHAGUI; JOHN, 2021), que apresenta dados de geração de resíduos do processo de extração de toras nativas sem manejo, resultados de meta-análise baseada em trabalhos brasileiros.

Artigo científico (UHL *et al.*, 1991) que avalia aspectos sociais, econômicos e ecológicos da exploração seletiva de toras em Tailândia - PA. O estudo avalia seis áreas florestais, com estimativas de fluxos energéticos e de biomassa relacionados às atividades florestais.

Artigo científico (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996) que compara atividades de exploração planejada e não planejada de toras nativas em Paragominas - PA. O estudo estima fluxos de biomassa florestal.

Artigo científico (NUMAZAWA *et al.*, 2017), que compara fluxos de carbono e emissões de CO₂ em áreas com intensidade e manejo distintos com dados de um estudo de caso de duas áreas de exploração florestal de madeira nativa em Paragominas - PA. O estudo estima fluxos de biomassa em diferentes tipos de manejo florestal e emissões de CO₂ consequentes da produção de resíduos.

Artigo científico (FELDPAUSCH *et al.*, 2005), de estudo de caso de floresta manejada realizado na Fazenda Rohsamar, em Juruena - Mato Grosso, no Brasil. O estudo avalia exportações de carbono nas toras extraídas da floresta e nos resíduos gerados pelas atividades florestais.

Artigo científico (BARRETO *et al.*, 1998), que considera a viabilidade técnica, eficiência e lucratividade de diferentes práticas de extração de madeira na região de Paragominas - PA, no Brasil. O estudo estima consumo energético nas atividades florestais de diferentes tipos de manejo.

Artigo científico (MAZZEI *et al.*, 2010), baseado em um estudo de caso de floresta manejada na Fazenda Rio Capim, localizada em Paragominas - PA. O estudo avalia a capacidade regenerativa da floresta após a extração de toras e estima o tempo necessário para recuperação da biomassa.

2.4.2 Madeira serrada

Dada a dificuldade de se separar a origem da madeira dentro das categorias propostas pelo Sidac, admitiu-se três cenários possíveis para a origem da madeira: madeira nativa proveniente de floresta sem manejo, madeira nativa proveniente de manejo florestal e madeira nativa certificada FSC.

Madeira serrada bruta. Os dados vêm de artigos (DA SILVA LUZ *et al.*, 2021; DE LIMA *et al.*, 2020; DE MELO *et al.*, 2019; GARCIA, 2013; MENDOZA; BORGES; PIERIN, 2017; ROMERO *et al.*, 2020; VERISSIMO *et al.*, 1992), tese (PUNHAGUI, 2014) e dissertações (GARCIA, 2013; MOTA, 2018). Cada estudo traz um número diferente de espécies avaliadas, variando de 1 (GARCIA, 2013) a 84 (VERISSIMO *et al.*, 1992) reportadas nos estudos.

O porte das serrarias varia. Identificou-se oito serrarias com produção de até 50 m³.dia⁻¹ (DA SILVA LUZ *et al.*, 2021; DE MELO *et al.*, 2019; GARCIA, 2013; MENDOZA; BORGES; PIERIN, 2017; PUNHAGUI, 2014; ROMERO *et al.*, 2020), duas com produção entre 50 e 100 m³.dia⁻¹ (MOTA, 2018; PUNHAGUI, 2014) e duas com produção acima de 100 m³.dia⁻¹ (PUNHAGUI, 2014). Uma referência não identifica a média de produção (DE LIMA, 2019) e outra traz essa informação de forma agrupada, com média de 11,78 m³.dia⁻¹ e desvio padrão de 2,35 m³.dia⁻¹ (VERISSIMO *et al.*, 1992).

São estudos de caso que reportam dados de medições *in loco* de produção de madeira serrada e geração de resíduos, ou de rendimento da produção de madeira serrada (DA SILVA LUZ *et al.*, 2021; DE LIMA *et al.*, 2020; DE MELO *et al.*, 2019; GARCIA, 2013; MENDOZA; BORGES; PIERIN, 2017; MOTA, 2018; PUNHAGUI, 2014; ROMERO *et al.*, 2020), dados de consumo energético, de consumo de toras, produção de produtos de madeira serrada e análise econômica a partir de medições *in loco* e entrevistas (VERISSIMO *et al.*, 1992), ou de entrevistas, sendo estes de inventário de ciclo de vida (rendimento da madeira serrada e consumo energético) (PUNHAGUI, 2014).

Sobre os equipamentos, todas as empresas possuem serra fita vertical, utilizada no processo de cubagem das toras, e serra circular, usada para o alinhamento das peças (ROMERO *et al.*, 2020; VERISSIMO *et al.*, 1992), a exemplo da serra de mesa ou de pêndulo (DE MELO *et al.*, 2019). Algumas possuem guincho de toras (DE LIMA *et al.*, 2020; MOTA, 2018) e carro transportador de toras (DE LIMA *et al.*, 2020).

Todas as serrarias encontram-se em municípios localizados na região da Amazônia Legal¹¹, trabalhando com madeira de origem local.

Madeira serrada aplainada - Apenas uma referência traz dados de madeira serrada aplainada (PUNHAGUI, 2014), com informações de três empresas (Empresa 11, 12 e 14). Todas as serrarias inclusas nessa fase do processamento de madeira nativa são localizadas na região da Amazônia Legal.

2.4.3 Tora de madeira plantada

A literatura utilizada para estimar os indicadores genéricos das entradas e saídas do processo de produção de **toras de madeira plantada de pinus** apresentados no Sidac contou com as fontes listadas nos parágrafos a seguir.

Tese de doutorado (PUNHAGUI, 2014) com os resultados de um levantamento de dados primários de ciclo de vida junto a empresas florestais produtoras de toras de madeira de pinus.

Artigo científico (FERRO *et al.*, 2018b) que apresenta resultados de um inventário do ciclo de vida da produção toras de *Pinus taeda* de uma empresa localizada no estado de São Paulo-SP.

Artigo científico (FERRO *et al.*, 2018a) que apresenta um inventário do ciclo de vida da produção de painel OSB do berço-ao-portão da fábrica, e que apresenta dados da produção florestal de *Pinus taeda*.

Relatório interno com dados primários de inventário do ciclo de vida da atividade florestal de uma empresa produtoras de toras de madeira de *Pinus spp* no PR (FISCHER *et al.* 2021).

Artigos científicos que reportam a produção florestal em volume de toras e outros componentes florestais (ex: raiz, casca, galho, folha), incluindo a parcela de biomassa que permanece na floresta, ou então o rendimento da produção de toras de pinus: Balbinot *et al.*, 2008; Bizon, 2006; Schumacher *et al.*, 2013; Sixel, 2012; Watzlawick, 2003.

Apenas parte destes estudos apresentam dados de consumo energético (FERRO *et al.*, 2018b, 2018a; PUNHAGUI, 2014); relatório interno (FISCHER *et al.*, 2021). As demais referências contemplam dados de produção de toras, geração de resíduos ou rendimento da atividade florestal (BALBINOT *et al.*, 2008; BIZON, 2006; SCHUMACHER *et al.*, 2013; SIXEL, 2012; WATZLAWICK, 2003). Dois estudos não reportam a parcela de biomassa que permanece na floresta (FERRO *et al.*, 2018b, 2018a).

A literatura utilizada para estimar os indicadores genéricos de entrada e saída das **toras de madeira plantada de eucalipto** apresentados no Sidac contou com as fontes listadas nos parágrafos a seguir.

Tese de doutorado (PUNHAGUI, 2014) apresenta resultados de um levantamento de dados primários de ciclo de vida junto a empresas florestais produtoras de toras de madeira de eucalipto.

Banco de dados de inventario do ciclo de vida com dados da produção de toras de *Eucalyptus spp* no centro sul do Brasil, Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida (SICV -Brasil) (SILVA, 2017)

Artigos científicos que reportam a produção florestal em volume de toras e outros compartimentos florestais, incluindo a parcela de biomassa que permanece na floresta, ou

¹¹ Conforme o Art. 2º da Lei Complementar N. 124, de 03.01.2007, abrange os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Rondônia, Roraima, Tocantins, Pará e parte do Maranhão, ao oeste do meridiano 44º (BRASIL, 2007b).

então o rendimento da produção de toras de eucalipto: (GATTO *et al.*, 2011; LUDVICHAK *et al.*, 2016; SCHUMACHER; WITSCHORECK, 2014).

Apenas (PUNHAGUI, 2014; SILVA, 2017) apresentam dados de consumo energético na atividade de colheita florestal de eucalipto. As demais referências contemplam dados de produção de toras, geração de resíduos ou rendimento da atividade florestal.

2.4.4 Madeira plantada serrada

Os processos de **madeira serrada bruta e aplainada de pinus** têm as mesmas fontes de dados. A literatura utilizada para estimar os indicadores genéricos de entradas e saídas apresentados no Sidac contou com as fontes listadas nos parágrafos a seguir.

Tese de doutorado (PUNHAGUI, 2014) com os resultados de um levantamento de dados primários de produção de madeira serrada de pinus.

Inventário próprio com dados primários de inventário do ciclo de vida de uma empresa produtora madeira serrada aplainada de pinus no estado do Paraná (FISCHER *et al.*, 2021).

Artigos científicos que reportam a dados da produção de madeira serrada de pinus e geração de coprodutos no processo, ou o rendimento da produção de madeira serrada de pinus (ALMEIDA; SACONE; SOUSA, 2014; BARBOSA *et al.*, 2014; BIASI; ROCHA, 2003; BRAND *et al.*, 2002; CHIES, 2005; DOBNER JÚNIOR; HIGA; ROCHA, 2012; LOPES *et al.*, 2018; MOULIN, 2019; MURARA JUNIOR; DA ROCHA; TRUGILHO, 2013; SERPE; FILHO; ARCE, 2018).

Não houve dados para madeira serrada de eucalipto.

2.5 Alocação

A maioria dos processos industriais madeireiros fornecem mais de um produto. Os resíduos do processamento podem ser reaproveitados dentro do próprio sistema de produção ou transformar-se em coprodutos segundo demanda de mercado. No Sidac, todos os fluxos elementares foram alocados para o produto principal.

Para os processos que envolvem a madeira nativa com manejo, parte do volume extraído é renovável e parte é não-renovável. Toda a parcela não-renovável da biomassa é alocada para os resíduos.

3 Métodos de cálculo e considerações

3.1 Considerações Gerais

As informações para a composição dos indicadores genéricos estão baseadas em literatura nacional (item 2.4), sobre os quais fez-se o tratamento dos dados obtidos. Os procedimentos de cálculo e conversões necessárias para a apresentação no modelo Sidac estão detalhados na sequência.

3.2 Métodos de cálculo

3.2.1 Densidades

As conversões de unidades de massa e de volume foram feitas considerando-se os valores de referência de densidades básicas e aparentes para madeiras nativas e plantadas, indicados na metodologia Sidac (Tabela 2).

Tabela 2 - Densidades adotadas para madeira nativa, pinus e eucalipto.

Produtos	Densidade básica (kg/m³)	Densidade aparente (kg/m³)
Madeira nativa	680	810
Madeira plantada - pinus	450	530
Madeira plantada - eucalipto	530	670

A densidade básica representa a razão entre a massa seca (teor de umidade TU= 0%) da madeira e seu volume saturado ou “verde” (equação 1), e é uma propriedade importante no cálculo de fluxos de biomassa florestal. Já a densidade aparente é a razão entre a massa e o volume nas mesmas condições de umidade (mesmo TU) (equação 2).

Densidade básica

$$\rho_{básica} = \frac{ms}{V_{verde}} * 100 \quad (1)$$

Densidade aparente

$$\rho_{básica} = \frac{mu_{x\%}}{V_{x\%}} * 100 \quad (2)$$

Em que:

ms: massa seca de madeira a 0% de umidade;

mu: massa úmida de madeira a determinado teor de umidade;

V_{verde}: volume de madeira verde, ou volume saturado de madeira, com umidade acima do ponto de saturação das fibras;

x: teor de umidade.

3.2.2 Teor de umidade e conversões em massa

As conversões de massa do material lenhoso em relação à sua umidade foram feitas a partir da relação de teor de umidade (base seca ou úmida).

Teor de umidade (base seca - bs) (3)

$$TU_{base\ seca} = \frac{(mu - ms)}{ms} * 100$$

Teor de umidade (base úmida - bu) (4)

$$TU_{base\ úmida} = \frac{(mu - ms)}{mu} * 100$$

Em que:

TU: teor de umidade (%);

mu: massa úmida de madeira;

ms: massa seca de madeira a 0% de umidade.

3.2.3 Ponto de saturação das fibras e teores de umidade

Para o Sidac, adotou-se o ponto de saturação das fibras (PSF) igual a 25% de umidade indicado pela norma brasileira ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997). Dessa forma, a madeira é considerada verde quando o teor de umidade (TU) é superior ao PSF (TU (bs) > 25%), e seca quando o teor de umidade (TU) é inferior ao PSF (TU ≤ 25%) (vide detalhamento desta consideração no Apêndice A - Detalhamento das considerações sobre o ponto de saturação das fibras (PSF)).

Admitiu-se o teor de umidade da madeira seca ao ar livre, tanto de coníferas como de folhosas, é igual a 16%, que é uma aproximação da média da umidade de equilíbrio higroscópica encontrada para diferentes regiões do Brasil (ALVARES *et al.*, 2017). Portanto, considera-se um

TU de **12%** para madeira **seca em estufa** e TU de **16%** para madeira **seca ao ar livre** (vide detalhamento no Apêndice A - Detalhamento das considerações sobre o ponto de saturação das fibras (PSF)). As premissas apresentadas nesta seção encontram-se resumidas na Tabela 3.

Tabela 3 - Premissas relacionadas ao teor de umidade da madeira.

TU ≤ PSF	TU > PSF	TU = 12%	TU = 16%
Madeira seca	Madeira verde	Madeira seca em estufa	Madeira seca ao ar livre
Há variação volumétrica com variação de umidade	Desconsiderada variação volumétrica com variação de umidade		

3.2.4 Correção volumétrica entre entrada de tora verde e saída de produto seco

Para cálculos de fluxo de massa de madeira e carbono, quando houver saída de madeira com teor umidade abaixo do PSF adotado, é necessário fazer correções de volume entre a entrada de tora verde no processo e a saída de produto seco do processo. Isso acontece, pois, a entrada de toras no processamento de madeira na serraria é dada em volume verde (umidade acima do PSF) e a saída de produto é dada em uma umidade abaixo do PSF e, portanto, haverá variação volumétrica no fluxo de madeira ao longo do processo.

Sabe-se que variações dimensionais, como retração e inchamento da madeira, começam a ocorrer quando se perde ou se ganha umidade abaixo do PSF. Acima do PSF não há mudança significativa nas dimensões da madeira (BAJPAI, 2018; (SIMPSON, 2001). Assim, quando o teor de umidade do produto de madeira reportado é igual ou inferior ao PSF ($TU_{bs} \leq 25\%$) é necessário fazer correções de volume entre a entrada de tora e a saída de produto para cálculos de fluxo de massa de madeira e carbono. Analogamente, quando o teor de umidade do produto de madeira é superior ao PSF ($TU_{bs} > 25\%$), não há variação volumétrica¹² no fluxo de madeira ao longo do processo e, portanto, não é necessário fazer correções de volume.

A correção de volume seco de produto (madeira serrada com TU = 12%) somado aos coprodutos (TU = 12%) ou resíduos de madeira (TU = 16%) para volume verde de entrada de toras deve ser feita pela equação 5.

$$V_{sat,tora} = \frac{\rho_x}{\rho_b \cdot (1 + x)} \cdot V_{x,tora} = \frac{\rho_x}{\rho_b \cdot (1 + x)} \cdot (V_{x,prod} + V_{x,serr}) \quad (5)$$

Em que:

ρ_x : densidade aparente (teor de umidade “x”);

ρ_b : densidade básica;

x: teor de umidade;

$V_{x,tora}$: volume de tora que precisaria entrar no processo à umidade “x” (igual à soma dos volumes de saída).

3.2.5 Rendimento dos produtos de madeira

Alguns estudos apresentavam dados de rendimento da atividade florestal e/ou serraria que foram usados para a estimativa das entradas e saídas para as unidades declaradas no Sidac, por meio das equações 6 e 7:

$$Y = \frac{Produto}{Produto + resíduo} \quad (6)$$

$$\frac{1}{Y} = \frac{X}{100\%} \quad (7)$$

¹² As variações são menores e, portanto, considerou-se que não há variação a fim de simplificação.

Em que:

Y : rendimento “yield”;

X : biomassa total necessária para a geração do produto.

3.2.6 Carbono incorporado na madeira

O cálculo da absorção de carbono pelo crescimento das árvores nos fluxos de biomassa, assume um teor de carbono fixo de 50% na madeira, como indicado na Metodologia Sidac e como sugere o IPCC (2019), e aplicam-se as equações 9 e 10:

$$C_{bio,matéria-prima} = m_s \times f_c = V_{verde} \times \rho_{bas} \times f_c \quad (9)$$

$$C_{bio,produto} = \sum (C_{bio,matéria-prima} \times q_{matéria-prima}) \times \frac{m_{produto}}{\sum m_{produtos} + \sum m_{resíduos}} \quad (10)$$

Em que:

$C_{bio,matéria-prima}$: quantidade de carbono estocada na matéria-prima (kg/unid. matéria-prima);

m_s : massa seca de biomassa (kg);

f_c : fator de proporção de carbono fixo na biomassa seca (0,5);

$C_{bio,produto}$: quantidade de carbono estocada temporariamente em um determinado produto (kg);

$q_{matéria-prima}$: quantidade de matéria-prima que entra no processo elementar (unid. matéria-prima/unid. produto);

$m_{produto}$: massa do(s) produto(s) resultante(s) do processo elementar (kg);

$m_{resíduos}$: massa do(s) resíduo(s) resultante(s) do processo elementar (kg).

3.2.7 Emissão de CO₂ por resíduos florestais e queima da biomassa

Para reportar a emissão de CO₂ dos resíduos florestais é necessário converter o carbono incorporado em CO₂. A emissão de dióxido de carbono devido à queima ou decomposição de biomassa renovável e não renovável é calculada de acordo com equação 11.

$$CO_2 = m \times f_c \times f_{c-co2} = m \times 0,50 \times \frac{44}{12} = V \times \rho \times 50 \times \frac{44}{12} \quad (11)$$

Em que:

CO₂: quantidade de CO₂ emitida pela queima ou decomposição de biomassa (kg);

m : massa seca de resíduo (kg);

f_c : fator de proporção de carbono fixo na massa seca de biomassa (0,5);

f_{c-co2} : fator de conversão de carbono incorporado para CO₂ (3,67)¹³;

V : volume de produto (m³).

As emissões de CO₂ provenientes dos resíduos de biomassa, da exploração florestal ou da serraria, podem ser consideradas nulas ou não, a depender da origem da madeira. Quando a biomassa é considerada renovável¹⁴, as emissões de CO₂ são contabilizadas e denominadas CO₂ biogênico, e são tidas como nulas para efeito de declaração dos resultados na plataforma do Sidac. Por outro lado, quando a biomassa é considerada não-renovável¹⁵, as emissões de CO₂ são contabilizadas e denominadas CO₂ de desmatamento, tidas como carbono emitente, e são

¹³ Obtido por cálculo estequiométrico, onde a massa molar do CO₂ é dividida pela massa molar do carbono (CO₂/C = 44/12 = 3,67).

¹⁴ Biomassa de madeira plantada e nativa com certificação FSC conforme descrito no documento metodológico do Sidac e no item 2.32.2 deste relatório.

¹⁵ Biomassa de madeira nativa sem manejo conforme descrito no documento metodológico do Sidac e no item 2.3 deste relatório.

declaradas como emissões e CO₂. No caso de biomassa parcialmente renovável¹⁶, os critérios aplicados para as parcelas renovável e não renovável são os mesmos e a distribuição entre elas se deu conforme explicação a seguir:

Madeira nativa com manejo foi classificada como parcialmente renovável. Baseando-se na média de recuperação estimada nos estudos de Mazzei *et al.* (2010) e Numazawa *et al.* (2017), adotou-se que 69% da biomassa retirada/destruída da floresta durante o primeiro ciclo de exploração é recuperada após os 30 anos de exploração, sendo a parte renovável da biomassa (carbono neutro); e os 31% restantes, não renováveis (carbono emitente).

3.2.8 Estimativa do consumo energético no processo de aplainamento

A estimativa de consumo energético na etapa de aplainamento considerou a unificação de informações de diferentes estudos para que os intervalos dos fluxos reportados tivessem coerência entre o produto bruto e o aplainado. Essa unificação foi conduzida somando-se a energia de aplainamento para os dados que se referiam apenas a madeira serrada bruta, e subtraindo-se a energia de aplainamento dos dados que se referiam a madeira serrada aplainada. Para isso, a partir dos dados de produção de madeira serrada aplainada reportados por Punhagui (2014), estimou-se que o consumo energético para o desdobro de madeira representa em média 72% do consumo energético total para a produção de madeira serrada aplainada; ou seja, o aplainamento representa em média 28% do consumo energético para produção da madeira serrada aplainada (entre os portões da fábrica).

3.3 Análise de incertezas

Para o cálculo de incertezas, todos os fluxos reportados neste relatório foram avaliados com distribuição de probabilidade triangular, pelas características das amostras disponíveis, que eram pequenas e, em muitos casos não apresentavam dados desagregados. Assim, as amostras são compostas por médias, medianas, mínimos e máximos. As fórmulas da distribuição triangular são mostradas na sequência.

Mediana

$$m_e = \{x_{(\frac{n}{2}+1)}\}, \text{ com } n \text{ ímpar } \frac{x_{(\frac{n}{2})} + x_{(\frac{n}{2}+1)}}{2}, \text{ com } n \text{ par} \quad (6)$$

Média

$$\bar{x}_t = \frac{a + b + c}{3} \quad (7)$$

Desvio padrão

$$S_t = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc}{18}} \quad (8)$$

Em que:

$\bar{x}_t$: média triangular;

S_t : desvio padrão triangular;

m_e : mediana;

¹⁶ Biomassa de madeira nativa com manejo conforme descrito no documento metodológico do Sidac e no item 2.3 deste relatório.

n : número de indivíduos da amostra;
 a : menor valor identificado para o fluxo;
 b : maior valor identificado para o fluxo;
 c : moda.

Aproximação de moda para mediana

$$c \cong m_d \quad (9)$$

Em que:

c : mediana

3.4 Itens desconsiderados

Foram desconsiderados lubrificantes; peças de reposição do maquinário industrial; embalagens; fluxos de água; consumo energético indiretos; transporte dos insumos não lenhosos até o portão de entrada dos processos; processos de produção de mudas, preparo do solo, fertilização; plantio e manutenção das florestas plantadas; produção de bens de capital.

4 Inventário dos processos elementares

Neste item apresentam-se as tabelas que compõem o inventário dos materiais lenhosos (tora e madeira serrada) reportados nesta versão do Sidac.

Tabela 4 - Fluxos de entradas e saídas para produção de toras nativas.

Fluxos	Unid.	Nativa certificada FSC		Nativa sem manejo florestal		Nativa com manejo florestal	
		Média	D.P. ±	Média	D.P. ±	Média	D.P. ±
Entradas							
Biomassa renovável	kg	2338,97	471,29	-	-	1613,89	325,19
Biomassa não renovável	kg	-	-	2338,97	471,29	725,08	146,1
Carbono absorvido	kg	1169,48	235,64	-	-	806,94	162,59
Gasolina	L	0,17	0,03	0,17	0,03	0,17	0,03
Óleo diesel	L	1,58	0,23	-	-	1,58	0,23
Saídas							
Tora	m³	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Resíduo de madeira renovável	m³	2,44	0,69	-	-	1,37	0,48
Resíduo de madeira não renovável	m³	-	-	2,44	0,69	1,07	0,21

Tabela 5 - Fluxos de entradas e saídas para produção de toras plantadas.

Fluxos	Unid.	Plantada - pinus		Plantada - eucalipto	
		Média	D.P. ±	Média	D.P. ±
Entradas					
Biomassa renovável	kg	554,11	36,53	581,55	15,08
Carbono absorvido	kg	277,06	18,26	290,77	7,54
Gasolina	L	0,23	0,13	-	-
Óleo diesel	L	0,95	0,26	2,13	0,66
Saídas					
Tora	m³	1,00	1,00	1,00	1,00
Resíduo de madeira renovável	m³	0,23	0,08	0,10	0,03

Tabela 6 - Fluxos de entradas e saídas para produção de madeira nativa serrada bruta.

Fluxos	Unid.	nativa certificada FSC		Nativa sem manejo florestal		Nativa com manejo florestal	
		Média	D.P. ±	Média	D.P. ±	Média	D.P. ±
Entradas							
Tora	m³	3,07	0,90	3,07	0,90	3,07	0,90
Eletricidade	kWh	70,25	19,17	70,25	19,17	70,25	19,17
Óleo diesel	L	4,19	0,72	4,19	0,72	4,19	0,72
Transporte	km	166,67	53,12	166,67	53,12	166,67	53,12
Saídas							
Madeira serrada bruta	m³	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Resíduo de madeira renovável	m³	1,96	0,87	-	-	1,96	0,87
Resíduo de madeira não renovável	m³	-	-	1,96	0,87	-	-

Tabela 7 - Fluxos de entradas e saídas para produção de madeira nativa serrada aplainada.

Fluxos	Unid.	Nativa certificada FSC		Nativa sem manejo florestal		Nativa com manejo florestal	
		Média	D.P. ±	Média	D.P. ±	Média	D.P. ±
Entradas							
Tora	m³	3,53	0,30	3,53	0,30	3,53	0,30
Eletricidade	kWh	93,64	8,74	93,64	8,74	93,64	8,74
Óleo diesel	L	4,67	0,53	4,67	0,53	4,67	0,53
Transporte	km	126,67	20,95	126,67	20,95	126,67	20,95
Saídas							
Madeira serrada aplainada	m³	1,00	-	1,00	-	1,00	-
Resíduo de madeira renovável	m³	2,40	0,29	-	-	2,40	0,29
Resíduo de madeira não renovável	m³	-	-	2,4	0,29	-	-

Tabela 8 - Fluxos de entradas e saídas para produção de madeira plantada serrada bruta e aplainada.

Fluxos	Unid.	Madeira serrada bruta - pinus		Madeira serrada aplainada - pinus	
		Média	D.P. ±	Média	D.P. ±
Entradas					
Tora	m³	3,07	0,70	3,33	0,62
Eletricidade	kWh	92,94	26,45	122,06	36,58
Óleo diesel	L	2,14	0,99	2,14	0,99
Transporte	km	89,27	40,23	89,27	40,23
Resíduo de madeira renovável	kg	372,61	32,73	372,61	32,73
GLP	kg	0,71	0,23	0,71	0,23
Saídas					
Madeira serrada	m³	1,00	1,00	1,00	1,00
Coproduto de madeira (renovável)	m³	1,92	-	2,17	-

5 Análise dos indicadores

A partir do inventário foram construídos dois indicadores: demanda de energia primária e emissões de CO₂. A demanda de energia primária considera fontes renováveis e não-renováveis em processos de combustão e geração de energia elétrica. As emissões de CO₂ dos produtos de madeira foram classificadas em: biogênicas (decomposição/queima da biomassa renovável) consideradas nulas; de desmatamento (decomposição/queima de biomassa não renovável) consideradas emitentes; e fósseis (queima de insumos energéticos fósseis). Na plataforma Sidac as emissões biogênicas são contabilizadas para manter a transparência dos dados, porém são declaradas como nulas. As emissões de desmatamento são contabilizadas e declaradas como emissões de CO₂ junto com as emissões fósseis.

Os inventários do Sidac apresentados neste relatório apresentam a quantificação das emissões de CO₂ sem aplicação do conceito de neutralidade.

5.1 Indicadores de toras de madeira

5.1.1 Demanda de energia

A demanda de energia para produção de toras está relacionada ao consumo energético direto de diesel e gasolina nas atividades de pré-extração/colheita e extração/colheita. Os indicadores resultantes do fluxo energético estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Demanda de energia primária para produção de toras (MJ/m³)

Produto e origem	Demanda de energia primária renovável		Demanda de energia primária não renovável		Demanda de energia primária	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Tora						
Nativa certificada FSC	5,82	9,85	38,55	67,12	44,38	76,96
Nativa sem manejo	5,96	11,87	39,50	81,62	45,46	93,48
Nativa de manejo florestal	5,82	9,85	38,55	67,12	44,38	76,96
Plantada - pinus	2,75	8,22	17,58	51,98	20,40	60,13
Plantada - eucalipto	3,49	14,87	25,03	106,60	28,52	121,50

5.1.2 Emissões de CO₂

As emissões de CO₂ da madeira nativa é consideravelmente superior ao da madeira plantada (Tabela 10). Isto devido a produção de resíduos na fase pré-exploratória, resultantes da construção de infraestrutura para o corte e retirada das toras da floresta (CAMPOS; PUNHAGUI; JOHN, 2021). Apesar de elevada, a emissão de CO₂ da madeira nativa pode ser contabilizada ou não (vide itens 2.2.1. e 3.2.7)

Tabela 10 - Emissões de CO₂ para produção de toras (kg/m³).

Produto e origem	Emissão de CO ₂ (desmatamento + fóssil)		Emissão de CO ₂ (biogênico)		Emissão de CO ₂ total	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Tora						
Nativa certificada FSC	2,84	4,95	1322,00	4764,00	1324,84	4768,95
nativa sem manejo	1326,00	4768,00	0,42	0,84	1326,42	4768,84
Nativa de manejo florestal	814,40	1862,00	511,80	2906,00	1326,20	4768,00
Plantada - pinus	1,29	3,81	58,13	322,10	59,42	325,91
Plantada - eucalipto	1,86	7,90	39,53	156,10	41,39	164,00

Embora não se deva fazer comparação direta entre estudos de escopos diferentes¹⁷, a Tabela 11 apresenta dados da literatura científica com o objetivo de verificar a coerência dos resultados estimados para o Sidac quanto a ordem de grandeza.

¹⁷ Consideração de energia indireta e de consumo humano; consideração de químicos (ex.: lubrificantes); cobertura geográfica; fronteira do sistema etc. (ACKERMAN *et al.*, 2017; BERG; LINDHOLM, 2005; CAMPOS, 2012; GONZÁLEZ-GARCÍA *et al.*, 2009; HANDLER *et al.*, 2014; MAESANO *et al.*, 2013; VUSIĆ *et al.*, 2013).

Tabela 11 – Demanda de energia e emissões de CO₂ para produção de toras, dados de literatura.

Referência	País	Madeira	MJ/m ³	kgCO ₂ /m ³	Densidade (kg/m ³)
(MAESANO <i>et al.</i> , 2013)	Camarões	Nativa	275 - 294	-	-
(CAMPOS, 2012)	Brasil	Nativa	-	2400 - 6800 ^c	-
(VUSIĆ <i>et al.</i> , 2013)	Croácia	Nativa/ Plantada	56 - 113	7,52 - 9,03 _{fos}	-
(BERG; LINDHOLM, 2005)	Suécia	Plantada	147 - 200	12,52 _{fos}	-
(FIALA; BACENETTI, 2012)	Itália	Plantada	95 ^a - 155 ^b	-	450 ^a - 680 ^b
(HANDLER <i>et al.</i> , 2014)	EUA	Nativa/Plantada	210 ^a - 317 ^b	-	450 ^a - 680 ^b
(ACKERMAN <i>et al.</i> , 2017)	África do Sul	Plantada	-	2,73 _{fos}	-
(GONZÁLEZ-GARCÍA <i>et al.</i> , 2009)	Espanha e Suécia	Plantada	114,8 - 155,1	-	-

^a O dado do estudo está em função da tonelada seca do produto, que é, para efeito comparativo neste relatório, convertido em metro cúbico saturado, por meio da densidade 450 kg.m³, densidade básica da madeira nativa conforme metodologia do Sidac;
^b O dado do estudo está em função da tonelada seca do produto, que é, para efeito comparativo neste relatório, convertido em metro cúbico saturado, por meio da densidade 680 kg.m³, densidade básica da madeira nativa conforme metodologia do Sidac;
^c Carbono emitido por madeira explorada em área de ESC, por tanto, considerada fóssil para o Sidac.

Nota-se que, os indicadores ambientais reportados no processo de produção de toras no Sidac se mostram coerentes com a faixa de variação da literatura apresentada na Tabela 11.

5.2 Indicadores de madeira serrada bruta e aplainada

É importante destacar que os indicadores da madeira serrada bruta e aplainada carregam as cargas ambientais (demanda de energia e emissões de CO₂) das toras que a originaram.

5.2.1 Demanda de energia

A demanda de energia para produção de madeira serrada bruta e aplainada está relacionada ao consumo energético direto nas atividades detalhadas nos subitens 2.3.2 a 2.3.6. Os indicadores resultantes do fluxo energético estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Demanda de energia primária para produção de madeira serrada (MJ/m³)

Produtos e origem	Demanda de energia primária renovável		Demanda de energia primária não renovável		Demanda de energia primária	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Madeira serrada bruta						
Nativa certificada FSC	184,1	476,8	373,4	773,4	607,1	1201,0
Nativa sem manejo	187,1	480,4	384,7	809,5	623,1	1239,0
Nativa de manejo florestal	184,1	476,8	373,4	773,4	607,1	1201,0
Plantada - pinus	4347,0	6092,0	266,2	545,4	4722,0	6528,0
Madeira serrada aplainada						
Nativa certificada FSC	353,9	487,4	531,4	717,4	908,3	1182,0
Nativa sem manejo	357,3	491,7	542,4	761,0	924,5	1228,0
Nativa de manejo florestal	353,9	487,4	531,4	717,4	908,3	1182,0
Plantada - pinus	4438,0	6224,0	303,7	622,3	4853,0	6735,0

Observa-se que os dados de energia para produção de madeira plantada serrada bruta são próximos aos dados da aplainada, quando considerada a mesma origem da tora. Normalmente, a madeira serrada aplainada tende a apresentar valores ligeiramente superiores devido ao processo de aplainamento feito com plainas movidas a eletricidade. Contudo, no caso da madeira nativa, o intervalo de consumo energético entre a madeira serrada bruta e a aplainada é maior devido aos transportes que apresentam maiores distâncias.

5.2.2 Emissões de CO₂

As emissões de CO₂ na produção de madeira serrada são relacionadas ao consumo de recursos energéticos e decomposição ou queima de resíduos (Tabela 13).

Tabela 13 - Emissões de CO₂ para produção de madeira serrada (kg/m³)

Produtos e origem	Emissão de CO ₂ (desmatamento + fóssil)		Emissão de CO ₂ (biogênico)		Emissão de CO ₂ total	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Madeira serrada bruta						
Nativa certificada FSC	25,2	54,2	39,5	19820,0	64,7	19874,2
Nativa sem manejo	3980,0	19860,0	3,0	7,2	3983,0	19867,2
Nativa de manejo florestal	1240,0	7032,0	2493,0	13090,0	3733,0	20122,0
Plantada - pinus	16,7	35,3	632,7	1621,0	649,4	1656,3
Madeira serrada apilada						
Nativa certificada FSC	35,8	49,3	7469,0	20240,0	85,1	20289,3
Nativa sem manejo	7507,0	20280,0	4,3	6,4	7511,3	20286,4
Nativa de manejo florestal	2737,0	6768,0	4733,0	13560,0	7470,0	20328,0
Plantada - pinus	19,1	39,2	668,5	1684,0	687,6	1723,2

As serrarias que beneficiam madeira plantada apresentaram rendimento maior do que as serrarias de floresta nativa, o que impacta diretamente no consumo de toras e geração de coprodutos/resíduos de madeira. No caso da madeira de pinus, a emissão de CO₂ biogênico é muito superior a fóssil devido ao expressivo uso de resíduo de biomassa renovável no processo de secagem. Para a madeira nativa serrada, o menor rendimento da serraria produz maior produção de resíduos, que se considerados não renováveis irão resultar em altas emissões.

Os indicadores de energia e CO₂ da madeira serrada reportados no Sidac apresentam ordem de grandeza compatível com outras referências da literatura científica (Tabela 14).

Tabela 14 – Demanda de energia e emissões de CO₂ para a produção de madeira serrada, dados de literatura.

Referência	País	Madeira	MJ/m ³	kgCO ₂ /m ³	Densidade (kg/m ³)
(BRAND, 2000)	-	Plantada	284,8 ^a - 440,6 ^a	-	530,0 ^h - 820,0 ^h
(PUETTMANN; WILSON, 2005)	EUA	Plantada	3705,0 ^b - 3492,0 ^c	92,0 ^{fos} ^b e 160,0 ^{bio} ^b	413,0 ^b - 510,0 ^c
(MILOTA; WEST; HARTLEY, 2005) ^e	EUA	Plantada	3363,3 - 39545,2	72,0 ^{fos} e 186,0 ^{bio} 47,0 ^{fos} e 307,0 ^{bio}	-
(ALCORN, 2010)	Nova Zelândia	Plantada	1275,0	-	460,0
(BERGMAN; BOWE, 2010)	EUA	Plantada	3085,0 ^k	65,1 ^{fos} ^g e 187,0 ^{bio} ^g	-
(PUETTMANN; WAGNER; JOHNSON, 2010)	EUA	Plantada	2911,0 ^h	72,0 ^{fos} ^f e 116,0 ^{bio} ^f	436,0 ^f
(HAMMOND; JONES, 2011)	Vários	Plantada	3922,0 - 6068,0	100,7 ^{fos} e 206,7 ^{bio} - 155,8 ^{fos} e 319,8 ^{bio}	530,0 ^h - 820,0 ^h
(ZABALZA BRIBIÁN; VALERO CAPILLA; ARANDA USÓN, 2011)	-	Plantada	12600,0	-	600,0
(PUETTMANN; ONEIL; JOHNSON, 2013)	EUA	Plantada	3532,3	-	-
(MURPHY; DEVLIN; MCDONNELL, 2015) ^d	-	Plantada	761,0 - 1460,0 - 914,0	-	-
(CAMPOS, 2012)	Brasil	Nativa	-	5200,0 - 19600,0 ^{fos}	-

^a Aproximadamente 0.98 MJ/ kg de madeira serrada;
^b Madeira da região noroeste, na costa pacífica dos EUA;
^c Madeira do sudeste dos EUA;
^d Os autores consideram três cenários para a produção da madeira;
^e Estimativa de valores de produção de madeira das regiões sul e oeste dos EUA;
^f Madeira da região sul do oceano indico;
^g Madeira da região nordeste e centro-norte dos EUA;
^h Densidades do Sidac.

6 Considerações finais

Este relatório apresenta os critérios empregados para a produção dos inventários de ciclo de vida de produtos lenhosos destinados à construção: toras, madeira serrada bruta e madeira serrada apilada; oriundas de florestas nativas e plantadas. Os dados usados foram levantados na literatura científica nacional, a fim de subsidiar informações para o cálculo dos indicadores de demanda de energia primária e emissões de CO₂, do berço (extração/colheita das toras) ao portão (produto na serraria). Os resultados dos indicadores são reportados na plataforma do Sidac com faixas de variação (valores mínimos e máximos).

A maior demanda de energia primária decorre do consumo de resíduos de madeira utilizados como insumo energético nas estufas para secagem da madeira serrada. Apesar do alto consumo de energia nesta fase, os resíduos empregados podem ser considerados renováveis e neutros em carbono caso a biomassa seja proveniente de floresta nativa com certificação ou plantada.

As emissões de CO₂ mais relevantes concentram-se na etapa de atividades florestais de extração de madeira nativa, onde se observa a maior produção de resíduos por unidade de produto. Os resíduos, quando considerados renováveis, apresentam carga ambiental associada às emissões minimizada pela aplicação do conceito de carbono neutro. Entretanto, no caso da madeira nativa sem manejo, os resíduos são considerados não renováveis e as emissões de CO₂ são reportadas nas emissões totais.

Os dados de literatura deflagram a heterogeneidade da indústria madeireira em relação à eficiência no uso do recurso material e energético, resultando em importantes variações nos indicadores ambientais calculados pelo Sidac. Estudos nacionais sobre rendimento na atividade florestal e nas serrarias são numerosos. Porém, são escassos aqueles que tratam do consumo energético ou que fazem o inventário de ciclo de vida dos produtos de madeira; apesar da alta relevância do setor madeireiro brasileiro no cenário mundial.

Desta forma, a realização da coleta de dados primários junto a empresas favorece a obtenção de *benchmark* com representatividade nacional. Isto pode auxiliar no direcionamento de ações para a melhoria do desempenho ambiental do setor ou consolidação de práticas eficientes empregadas.

7 Referências

ACKERMAN, Pierre *et al.* Diesel consumption and carbon balance in South African pine clear-felling CTL operations: A preliminary case study. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 38, n. 1, p. 65–72, 2017. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/174451>.

ALCORN, Andrew J. **Global Sustainability and the New Zealand House**. 2010. 353 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Te Herenga Waka-Victoria University of Wellington, Wellington, 2010. DOI: 10.26686/wgtn.16992619.v1.

ALMEIDA, Mayron Aparecido de; SACONE, Bruno; SOUSA, Roney C. M. O. Análise de aproveitamento no desdobro de madeira serrada – Pinus spp. **Revistas Científicas Eletrônicas da FAIT**, Itapeva, n. 4, p. 11, 2014. Disponível em: http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/plriEN1ErCdNeHD_2014-4-16-16-42-52.pdf.

ALMEIDA, Tiago Hendrigo de. **Estudo da estabilidade dimensional de madeiras tropicais brasileiras**. 2015. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de

Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, 2015. DOI:10.11606/D.18.2015.tde-05082015-091914.

ALVARES, Clayton Alcarde et al. **Zoneamento da umidade de equilíbrio mensal de painéis e madeira maciça no Brasil**. CIRCULAR TÉCNICA IPEF n. 211, p. 01-13, julho de 2017. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/>.

ASNER, Gregory P. et al. Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon. **Proceedings of The National Academy of Sciences (PNAS)**, Washington, v. 103, n. 34, p. 12947-12950, 22 ago. 2006. DOI: 10.1073/pnas.0604093103.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira. Rio Janeiro.

BALBINOT, Rafaelo et al. Estoque de carbono em plantações de pinus spp. em diferentes idades no sul do estado do paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 317-324, 2008. DOI: 10.5380/rev.v38i2.11626

BAJPAL, P. **Biermann's Handbook of Pulp and Paper: Raw Material and Pulp Making**. Amsterdam: Elsevier, v. 1, ed. 3. p. 668, 2018. ISBN: 9780128142417. DOI: 10.1016/C2017-0-00513-X.

BARBOSA, Lucas C ndido et al. Avaliação dos resíduos de uma serraria para a produção de celulose kraft. **Ciencia Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 491-500, 2014. DOI: 10.5902/19805098.

BARRETO, Paulo et al. Costs and benefits of forest management for timber production in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 108, n. 1-2, p. 9-26, 1998. DOI: 10.1016/S0378-1127(97)00251-X.

BERG, Staffan; LINDHOLM, Eva Lotta. Energy use and environmental impacts of forest operations in Sweden. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 13, n. 1, p. 33-42, 2005. DOI: 10.1016/j.jclepro.2003.09.015.

BERGMAN, Richard D.; BOWE, Scott A. Environmental impact of manufacturing softwood lumber in northeastern and north central United States. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 42, n. SUPPL. 1, p. 67-78, 2010.

BIASI, Cândido Pietro; ROCHA, Márcio Pereira da. Rendimento em serraria de pinus elliottii. In: , 2003, São Paulo. **CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO** (Vol. 8). São Paulo: SBS/SBEEF, 2003. p. 1-12. Disponível em: http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Voluntario_101.pdf.

BIZON, José Márcio Cossi. **Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de Pinus taeda L. usando um balanço de entrada-s  da de nutrientes**. 2005. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, 2006. DOI:10.11606/D.11.2006.tde-22102007-092659.

BRAND, Martha Andreia et al. Caracterização Do Rendimento E Quantificação Dos Resíduos Gerados Em Serraria Através Do Balanço De Materiais. **Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 247-259, 2002. DOI: 10.5380/rev.v32i2.2288.

BRAND, Martha Andreia. **Rendimento do processo produtivo e energético da m teria-prima de uma indústria de base florestal**. 163 f. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)

- Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2000. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/25146>.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Instrução Normativa 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. Diário Oficial da União de 13 de dez. de 2006, Seção 1, Página 155. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/IN0005-111206.PDF>.

BRASIL a. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Instrução Normativa 2, de 27 de junho de 2007**. Altera dispositivos da instrução normativa no 5, de 11 de dezembro de 2006, e dá outras providências. Diário Oficial da União de 28 de Jun. de 2007. Seção 1, Página 78. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/IN0002-270607.PDF>.

BRASIL b. **Lei complementar nº 124, de 3 de janeiro de 2007**. Institui, na forma do art. 43 da Constituição Federal, a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia - SUDAM; estabelece sua composição, natureza jurídica, objetivos, área de competência e instrumentos de ação; dispõe sobre o Fundo de Desenvolvimento da Amazônia - FDA; altera a Medida Provisória nº 2.157-5, de 24 de agosto de 2001; revoga a Lei Complementar nº 67, de 13 de junho de 1991; e dá outras providências. Diário Oficial da União - Seção 1 – 4 de Jan. de 2007, Página 1. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp124.htm

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 406, de 2 de fevereiro de 2009**. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica, e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS com fins madeireiros, para floresta nativas e suas formas de sucessão no Bioma Amazônia. Brasília: MMA, 2009. 4 p.

CAMPOS, Érica Ferraz de. **Emissão de CO₂ da madeira serrada da Amazônia: o caso da exploração convencional**. p. 152, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2012. DOI: 10.11606/D.3.2012.tde-12062013-170523. Acesso em: 2022-03-25.

CAMPOS, ÉRICA FERRAZ DE; PUNHAGUI, KATIA REGINA GARCIA; JOHN, VANDERLEY MOACYR. CO₂ footprint of Amazon lumber: A meta-analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, Oxford, v. 167, n. August 2020, 2021. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105380.

CEDERBERG, Christel et al. Including carbon emissions from deforestation in the carbon footprint of brazilian beef. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 45, n. 5, p. 1773–1779, 2011. DOI: 10.1021/es103240z

CHIES, Daniel. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de Pinus taeda L**, p. 137, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná (UFPR). Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/3181>.

CHRISTOFORO, André Luis et al. Shrinkage for Some Wood Species Estimated by Density. **International Journal of Materials Engineering**, Waterloo, v. 6, n. 2, p. 23–27, 2016. DOI: 10.5923/j.ijme.20160602.01.

DA SILVA LUZ, Elizângela et al. Challenges of the lumber production in the Amazon region: relation between sustainability of sawmills, process yield and logs quality. **Environment, Development and Sustainability**, Basileia, v. 23, n. 4, p. 4924–4948, 2021. DOI: 10.1007/s10668-020-00797-9.

DE LIMA, Robson Borges et al. Effect of species and log diameter on the volumetric yield of lumber in northern Brazilian Amazonia: preliminary results. **Journal of Sustainable Forestry**, Philadelphia, v. 39, n. 3, p. 283–299, 2020. DOI: 10.1080/10549811.2019.1636661.

DE MELO, Rafael Rodolfo et al. Lumber yield of four native forest species of the Amazon Region. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 1, p. 1–7, 2019. DOI: 10.1590/2179-8087.031116.

DE PIRES, P. T. L. et al. Dicionário de termos florestais. **FUPEF**: Curitiba, 2018. 102 p. ISBN 978 85 60020 10 2. Disponível em: https://www.apreflorestas.com.br/wp-content/uploads/2018/03/APRE_dicionario_2018_digital-1.pdf

DOBNER JÚNIOR, Mário; HIGA, Antonio Rioyei; ROCHA, Márcio Pereira da. Rendimento em Serraria de Toras de Pinus taeda: Sortimentos de Grandes Dimensões. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 385–392, 2012. DOI: 10.4322/floram.2012.053.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2020**: Ano base 2019. Empresa de Pesquisa Enegetica. Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>.

ESPADA, Ana Luiza Violato et al. **Manejo Florestal e Exploração de Impacto Reduzido em Florestas Naturais de Produção da Amazônia**. Belém: IFT 1, 2016. Disponível em: <http://www.ift.org.br/publicacoes/producao-tecnica/manuais-e-cartilhas/>.

FEARNSIDE, P.M. 2005. Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e consequências. **Megadiversidade** 1(4): 113-123. Disponível em: http://www.conservation.org.br/publicacoes/megadiversidade/16_fearnside.

FELDPAUSCH, Ted R. et al. When big trees fall: Damage and carbon export by reduced impact logging in southern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 219, n. 2–3, p. 199–215, 2005. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.09.003.

FERNANDA SANTOS, LOPES et al. Rendimento em madeira serrada de toras de pequeno diâmetro em serraria de grande porte. In: , 2018. **CIÊNCIA, TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL: COMPARTILHANDO CONHECIMENTOS INOVADORES E EXPERIÊNCIAS**. Recife: Instituto Internacional Despertando Vocações, 2018. p. 1–5. DOI: 10.31692/2526-7701.IIICOINTERPDVAGRO.2018.00205.

FERRO, Fabiane Salles et al. Environmental aspects of oriented strand boards production. A Brazilian case study. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 183, n. 2018, p. 710–719, 2018a. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.174.

FERRO, Fabiane Salles et al. Environmental Life Cycle Assessment of industrial pine roundwood production in Brazilian forests. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 640–641, p. 599–608, 2018b. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.262.

FIALA, Marco; BACENETTI, Jacopo. Economic, energetic and environmental impact in short rotation coppice harvesting operations. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 42, p. 107–113, 2012. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.07.004.

FISCHER, Anna Claudia. **Avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO₂ dos materiais de madeira aplicados na prefabricação de vedação vertical em wood frame para o contexto brasileiro**. 207 f. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor de Tecnologia. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/70648>.

FISCHER, Anna Claudia; SANCHOTENE, Camila Yara dos Santos; AZEVEDO, Nathalia Cardoso de Pícoloto, Eduardo; TAVARES, Sérgio Fernando; PUNHAGUI, Kátia Garcia; Silva, DIMAS Agostinho da; LANGER, Marcelo, BERNARDO, Janice. **Relatório para o projeto CNPq Chamada MCTIC/CNPq Nº 40/2018 - Construção do Inventário do Ciclo de Vida do Sistema Construtivo Wood Frame**. 2021. dados ainda não publicados.

FOELKEL, Celso. Eucalyptus Newsletter no 51: **Secagem na Floresta e ao Ar Livre de Toras e Biomassa de Eucalipto**. [s. l.], 2016. p. 17. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/news51_Secagem_Madeira_Biomassa.pdf.

FONTES, Paulo José Prudente de. Auto-suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento dos resíduos. 1994. 140f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná- UFPR, Curitiba, 1994. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/28882>.

FUNDAÇÃO FLORESTA TROPICAL (FFT); CIKEL BRASIL VERDE; PRECIOUS WOOD. Manejo Florestal Sustentável e Exploração de Impacto Reduzido na Amazônia Brasileira. 19 p., sem data. Disponível em: <http://www.linhadetransmissao.com.br/artigos/manejo-sustentavel.pdf>

GALVÃO, A. Paulo M. Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. Revista IPEF (atual) **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 11, p. 53-65, 1975. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr11/cap04.pdf>.

GARCIA, Felipe Manente. **Rendimento operacional de uma serraria com a espécie cambará (Qualea albiflora Warm. na região amazônica**. 51 f, 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/99785> Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013. Disponível: <http://hdl.handle.net/11449/99785>.

GATTO, Alcides et al. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. **Revista Arvore**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 895–905, 2011. DOI: 10.1590/S0100-67622011000500015.

GERWING, Jeffrey J. Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 157, n. 1–3, p. 131–141, 2002. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00644-7/

GONZÁLEZ-GARCÍA, Sara et al. Environmental impacts of forest production and supply of pulpwood: Spanish and Swedish case studies. **International Journal of Life Cycle Assessment**, Heidelberg, v. 14, n. 4, p. 340–353, 2009. DOI: 10.1007/s11367-009-0089-1.

HAMMOND, G.; JONES, C. **Inventory of Carbon and Energy - ICE: Embodied energy and carbon - The ICE database - version 2.0**. Universidade de Bath, 2011. Disponível em: www.carbonsolutions.com/resources/ice%20v2.0%20-%20jan%202011.xls.

HANDLER, Robert M. et al. Environmental impacts of roundwood supply chain options in Michigan: Life-cycle assessment of harvest and transport stages. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 76, p. 64–73, 2014. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.04.040.

HOLMES, Thomas P.; BLATE, Geoffrey M.; ZWEEDE, Johan C. **Custos e Benefícios Financeiros da Exploração Florestal de Impacto Reduzido em Comparação à Exploração Florestal Convencional na Amazônia Oriental**. Belém: Fundação Florestal Tropical, v. 2, p. 66, 2004.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **IPCC - 2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2019. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>.

JANKOWSKY, Ivaldo P. **Fundamentos de secagem de madeiras**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo. Documentos Florestais, n. 10. 1990. 13p. Disponível em <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br:80/handle/123456789/14473>.

JOHNS, Jennifer S.; BARRETO, Paulo; UHL, Christopher. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 89, n. 1–3, p. 59–77, 1996. DOI: 10.1016/S0378-1127(96)03869-8.

LAURANCE, W. F.; COCHRANE, Mark A et al. The Future of the Brazilian Amazon. **Science**, Washington, v. 291, n. January, p. 438–439, 2001.

LENTINI, MARCO W. et al. **Boletim Técnico IFT 02: Avaliação de Danos e Desperdícios provocados pela Exploração Madeireira em Florestas Amazônicas: um método prático para avaliar a qualidade da exploração**. Belém: IFT, 2002. Disponível em: <http://www.ift.org.br/publicacoes/producao-tecnica/boletins-tecnicos/>.

LUDVICHAK, A. Aparecida et al. Devolução de nutrientes através da serapilheira produzida em um povoamento de eucalyptus dunnii maiden em solo arenoso. **Revista Arvore**, Viçosa, v. 40, n. 6, p. 1051–1058, 2016. DOI: 10.1590/0100-67622016000600009.

KELLER M.; ASNER G.; SILVA N.; PALACE, M. 4. Sustainability of Selective Logging of Upland Forests in the Brazilian Amazon: Carbon Budgets and Remote Sensing as Tools for Evaluating Logging Effects. In: Zarin D, Alavalapati J, Putz F, Schmink M (ed.) **Working Forests in the Neotropics: Conservation through Sustainable Management?**. New York Chichester, West Sussex: Columbia University Press; 2004. p.41-63. DOI: 10.7312/zari12906-006.

MAESANO, Mauro et al. Productivity and energy consumption in logging operation in a Cameroonian tropical forest. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 57, p. 149–153, 2013. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.04.013.

MANHIÇA, Alberto António; DA ROCHA, Márcio Pereira; TIMOFEICZYK JUNIOR, Romano. Eficiência operacional no desdobro de Pinus utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 2, p. 339–346, 2013. DOI: 10.1590/S0104-77602013000200019.

MAZZEI, Lucas et al. Above-ground biomass dynamics after reduced-impact logging in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 3, p. 367–373, 2010. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.10.031.

MENDOZA, Zaira M. dos S. H. de; BORGES, Pedro H. de M.; PIERIN, Lucas C. Coeficiente de rendimento em madeira serrada de oito espécies nativas de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v. 5, n. January 2017, 2017. DOI: 10.5935/2318-7670.v05nespa16.

MILOTA, Michael R.; WEST, Cynthia D.; HARTLEY, Ian D. Gate-to-gate life-cycle inventory of

softwood lumber production. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 37, p. 47–57, 2005.

MOTA, Kellyson Luiz Reis. **Desempenho operacional de uma serraria de médio porte no município de novo Aripuanã, Amazonas**. 2018. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/6760>.

MOULIN, Jordão Cabral. Rendimento em madeira serrada de pinus taeda com diferentes classes diamétricas e planos de corte. In: **4 CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA**. (Montiviú: CLEM), 2019. p. 7. Disponível em: https://www.clem2019.uy/admin/files/clem2019/upload/files/F2-4620266-4620266_-_RENDIMENTO_EM_MADEIRA_SERRADA_DE_Pinus_taeda_COM_DIFERENTES_CLASSES_DIAMÉTRICAS_E_PLANOS_DE_CORTE.pdf.

MURARA JUNIOR, Mauro Itamar; DA ROCHA, Márcio Pereira; TRUGILHO, Paulo Fernando. Estimate of pine lumber yield using two sawing methods. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 556–563, 2013. ISSN : 1415-0980. DOI: 10.4322/foram.2013.037.

MURPHY, Fionnuala; DEVLIN, Ger; MCDONNELL, Kevin. Greenhouse gas and energy based life cycle analysis of products from the Irish wood processing industry. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 92, n. 2015, p. 134–141, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.01.001.

NEPSTAD, Daniel C. et al. Large-scale impoverishment of amazonian forests by logging and fire. **Nature**, Berlin, v. 398, n. 6727, p. 505–508, 1999. DOI: 10.1038/19066

NOGUEIRA, Marlei M. et al. **Manual Técnico 2 - IFT**. Manejo de Florestas Naturais da Amazônia Corte, traçamento e segurança. Belém: IFT, 2011. Disponível em: http://ift.org.br/wp-content/uploads/2015/05/Manejo-de-Florestas-Naturais_02.pdf.

NUMAZAWA, Camila T.D. et al. Logging residues and CO₂ of Brazilian Amazon timber: Two case studies of forest harvesting. **Resources, Conservation and Recycling**, Oxford, v. 122, p. 280–285, 2017. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.02.016.

NUMAZAWA, Sueo. Exploração Florestal e indústrias madeireiras. In: PUNHAGUI, Katia Regina Garcia. **Potencial de redução das emissões de CO₂ e da energia incorporada na construção de moradias no Brasil mediante o incremento do uso de madeira**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2014. DOI: 10.11606/T.3.2014.tde-29042015-164644.

PINHEIRO, T. F. et al. Forest degradation associated with logging frontier expansion in the Amazon: The BR-163 region in southwestern Pará, Brazil. **Earth Interactions**, Washington, v. 20, n. 17, 2016. DOI: 10.1175/EI-D-15-0016.1.

PUETTMANN, Maureen E.; WAGNER, Francis G.; JOHNSON, Leonard. Life cycle inventory of softwood lumber from the inland northwest us. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 42, n. SUPPL. 1, p. 52–66, 2010.

PUETTMANN, Maureen E.; WILSON, James B. Life-cycle analysis of wood products: Cradle-to-gate LCI of residential wood building materials. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 37, n. 2001, p. 18–29, 2005.

PUETTMANN, Maureen; ONEIL, Elaine; JOHNSON, Leonard. **Cradle to Gate Life Cycle Assessment of Softwood Lumber Production from the Pacific Northwest**. Consortium for

Research on Renewable Industrial Materials (CORRIM). University of Washington. Seattle. 2006, p. 1–35, 2013.

PUNHAGUI, Katia Regina Garcia. **Potencial de redução das emissões de CO₂ e da energia incorporada na construção de moradias no Brasil mediante o incremento do uso de madeira**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2014. DOI: 10.11606/T.3.2014.tde-29042015-164644.

REMADE . Conheça os tipos de peças de madeira: o que é madeira?. **REMADE**. 10 Dez. de 2020 Disponível em: <http://www.remade.com.br/noticias/17311/conheca-os-tipos-de-pecas-de-madeira>.

DE PIRES, P. T. L. et al. Dicionário de termos florestais. FUPEF: Curitiba, 2018. 102 p. ISBN 978 85 60020 10 2. Disponível em: https://www.apreflorestas.com.br/wp-content/uploads/2018/03/APRE_dicionario_2018_digital-1.pdf

ROMERO, Flora Magdaline Benitez et al. Stocks of carbon in logs and timber products from forest management in the southwestern amazon. **Forests**, Basel, v. 11, n. 10, p. 1–20, 2020. DOI: 10.3390/f11101113.

SANTOS, L. M. Madeiras. Universidade de Brasília: Brasília, s.d. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_madeiras_lara_monalisa.pdf

SCHUMACHER, Mauro Valdir et al. Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de Pinus taeda l. de 27 anos de idade em Cambará do sul - RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 321–332, 2013. DOI: 10.5902/198050989278.

SCHUMACHER, Mauro Valdir; WITSCHORECK, Rudi; CALIL, Francine Neves. Biomassa em povoamentos de Eucalyptus spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 17–22, 2011. DOI: 10.5902/198050982743.

SERPE, Edson Luis; FILHO, Afonso Figueiredo; ARCE, Julio Eduardo. Rendimento Do Desdobro De Madeira Em Serraria Convencional E Diferentes Simulações Utilizando Otimizador Computacional. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 103, 2018. Disponível em: DOI: 10.5380/biofix.v3i1.58058.

SILVA, Diogo A. Lopes. **Dataset for the SICV Brasil LCA database 'Hardwood forestry, eucalyptus ssp.'**. 2017.

SIMPSON, W.T. Wood: Dimensional Change from Moisture. In: **ENCYCLOPEDIA OF MATERIALS: SCIENCE AND TECHNOLOGY**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 9627–9629. DOI: 10.1016/B0-08-043152-6/01743-5.

SIXEL, Ricardo Michael de Melo. **Sustentabilidade da produtividade de madeira de Pinus taeda com base no estoque, na exportação e na ciclagem de nutrientes**. p. 109., 2012. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. DOI: 10.11606/D.11.2012.tde-26102012-143719.

STEINMETZ, George. Plantações de soja e milho avançam sobre o território da floresta em Sinop, Mato Grosso. Se o aquecimento na Amazônia passar de 4°C – já chegou a 1,5°C –, a floresta pode se transformar em uma savana. In: Damasio, Kevin. A Amazônia se aproxima do ponto de ruptura, diz Carlos Nobre: O climatologista reflete sobre os desafios de preservação da floresta

e a necessidade de uma agropecuária de carbono neutro. **National geographic**, vozes. 8 de Jan. de 2019. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/entrevista/2019/01/entrevista-carlos-nobre-clima-amazonia-bolsonaro-governo>.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno et al. Energia termelétrica: gás natural, biomassa, carvão, nuclear. Rio de Janeiro: **EPE**, p. 25, 2016.

UCHIDA, Gabriel. At the edge of Uru-Eu-Wau-Wau territory, where the forest meets barren cattle lands, is a difference of night and day. Without vegetation, the region's topsoil dries and depletes quickly, requiring expensive systems of short-term life support and the constant creation of new land. Most pasture is degraded and abandoned within 10 or 15 years. In: ZAITCHIK, Alexander. Rainforest on fire: on the front lines of Bolsonaro's war on the Amazon, Brazil's forest communities fight against climate catastrophe. **The intercept**. 6 de Jul. de 2019. Disponível em: <https://theintercept.com/2019/07/06/brazil-amazon-rainforest-indigenous-conservation-agribusiness-ranching/>.

UHL, Christopher et al. Social, economic, and ecological consequences of selective logging in an Amazon frontier: the case of Tailândia. **Forest Ecology and Management, Amsterdam**, v. 46, n. 3–4, p. 243–273, 1991. DOI: 10.1016/0378-1127(91)90235-N.

VAN GARDINGEN, Paul R.; VALLE, Denis; THOMPSON, Ian. Evaluation of yield regulation options for primary forest in Tapajós National Forest, Brazil. **Forest Ecology and Management, Amsterdam**, v. 231, n. 1–3, p. 184–195, 2006. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.05.047.

VERISSIMO, Adalberto et al. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: The case of Paragominas. **Forest Ecology and Management, Amsterdam**, v. 55, n. 1–4, p. 169–199, 1992. DOI: 10.1016/0378-1127(92)90099-U.

VIDAL, Edson et al. Vine management for reduced-impact logging in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management, Amsterdam**, v. 98, n. 2, p. 105–114, 1997. DOI: 10.1016/S0378-1127(97)00051-0.

VUSIĆ, Dinko et al. Skidding operations in thinning and shelterwood cut of mixed stands - Work productivity, energy inputs and emissions. **Ecological Engineering, Amsterdam**, v. 61, p. 216–223, 2013. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.09.052.

WATZLAWICK, Luciano Farinha. **Estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrófila mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite Ikonos II**. 119f., 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba. Setor de Ciencias Agrárias. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/26789>.

WITSCHORECK, Rudi. **Fertilizers recommendation for eucalyptus saligna sm. based on the nutritional balance in the region of guaíba - RS**. 2014. 86 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais e Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/3775>.

WOOD MAGAZINE. How Dry is Your Wood?. **WOOD MAGAZINE**. 25 Abr. de 2017. Disponível em: <https://www.woodmagazine.com/materials-guide/lumber/how-dry-is-your-wood>

ZABALZA BRIBIÁN, Ignacio; VALERO CAPILLA, Antonio; ARANDA USÓN, Alfonso. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. **Building and Environment, Oxford**,

v. 46, n. 5, p. 1133–1140, 2011. DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.12.002.

ZADERENKO, Constantino. **Determinación de tiempos de secado por difusión en cámaras convencionales para Pinus taeda implantado de Misiones**. 180 f. 2000. (Tesis de Maestría en Ciencias de la Madera, Celulosa y Papel) - Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones, Posadas, 2000. Disponible em: <https://hdl.handle.net/20.500.12219/2480>.

ZELINKA, Samuel L. et al. A solution thermodynamics definition of the fiber saturation point and the derivation of a wood–water phase (state) diagram. **Wood Science and Technology**, New York, v. 50, n. 3, p. 443–462, 2016. DOI: 10.1007/s00226-015-0788-7.

ZENID, Geraldo José. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: IPT, 2009. 99p. (IPT Publicação 3010). Disponible em: http://aleph.ipt.br/exlibris/aleph/a22_1/apache_media/EEDNCG3N9H98CFVF4C96C1MGVPVJBA.pdf.

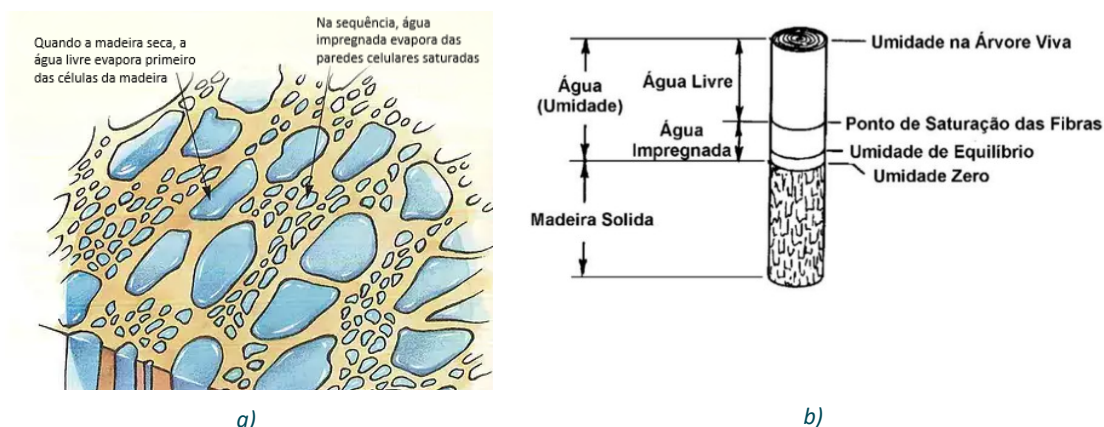
8 Apêndices

8.1 Apêndice A - Detalhamento das considerações sobre o ponto de saturação das fibras (PSF)

A madeira, material higroscópico, apresenta grande variação no teor de umidade (TU), o que reflete diretamente na variação de seu volume e densidade, reportados ao longo do seu ciclo de vida (ZELINKA *et al.*, 2016).

Após o corte das árvores, a alimentação das seivas (água e produtos elaborados na fotossíntese) entre raízes e folhas é cessada. Nesse momento, os vasos e os canais da madeira apresentam-se saturados de água (JANKOWSKY, 1990), entre 50% e 60% em base de peso úmido (FOELKEL, 2016). Esta umidade tende a reduzir-se espontânea e lentamente até atingir o teor do meio, à medida que as toras aguardam o seu processamento (JANKOWSKY, 1990). Comumente, a partir de 30 a 45 dias secando ao ar livre, o teor de umidade começa a ficar próximo a 35-40% (base úmida). Para o transporte, secam-se as toras de madeira ao ar livre até uma umidade de 25% a 45% (base úmida) (FOELKEL, 2016).

Inicialmente evapora-se a água localizada nos vasos, nos canais e no lúmen das células (água livre), e permanece na madeira toda a água localizada no interior das paredes celulares (água impregnada) (Figura 16). A este ponto crítico de transição, caracterizado por um teor de umidade, denomina-se Ponto de Saturação das Fibras (PSF).



9 Figura 17 - Água livre e impregnada na madeira: a) evaporação da água das células da madeira (WOOD MAGAZINE, 2017); b) Umidade na madeira (SANTOS, s.d.).

Uma pesquisa envolvendo quinze espécies tropicais, indica um PSF médio é de 21,6% e coeficiente de variação (CV) de 16,7% (ALMEIDA, 2015). Outra pesquisa com uma amostra de cinco espécies tropicais estima o PSF médio de 23,2% (CHRISTOFORO *et al.*, 2016). Para a espécie *Pinus teada*, o PSF médio relatado foi de 27,9% e CV de 4,3% (ZADERENKO, 2000). Outros estudos apontam o PSF de 28% a 30%, em média, para todas as madeiras (JANKOWSKY, 1990; SIMPSON, 2001; ZADERENKO, 2000).

Visto que a literatura apresenta variações do PSF em virtude de fatores como as diferentes espécies, clima em que estão inseridas e o método de determinação do PSF (ZELINKA *et al.*, 2016). Para o Sidac, adotou-se o PSF igual a 25% de umidade indicado pela norma brasileira ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997).

Abaixo do PSF, a secagem da madeira pode ocorrer de forma natural (ao ar livre) ou artificial (em estufa). A opção pela secagem em estufa ocorre em razão de exigências de processamento, uso final ou espécie. Para utilização da madeira serrada em estruturas na construção civil, a norma brasileira de Projetos de Estruturas de Madeira (ABNT NBR 7190) recomenda um TU (bs)

de 12%, classe 1 de umidade - condição-padrão de referência ABNT (1997). Apesar disso, é importante salientar que ainda que seca em estufa, a umidade do produto em uso tende a se equilibrar com a umidade do meio em que está inserido.

Inicialmente, o teor de umidade das madeiras se reduz rapidamente durante o armazenamento ao ar livre, e depois tende a diminuir mais vagarosamente até a estabilização entre 8% e 20% de umidade base seca (ou 7,5% a 16,7% em base úmida), chamada umidade de equilíbrio da madeira (FOELKEL, 2016; GALVÃO, 1975).

As variações dimensionais, como retração e inchamento da madeira, começam a ocorrer quando se perde ou se ganha umidade abaixo do PSF. Ou seja, acima do PSF não há mudança significativa nas dimensões da madeira (BAJPAI, 2018; SIMPSON, 2001).

Portanto, no Sidac, o ponto de saturação das fibras adotado é de 25%. Dessa forma, a madeira é considerada **verde quando o teor de umidade (TU) é superior ao PSF (TU (bs) > 25%)**, e seca quando o teor de umidade (TU) é inferior ao PSF (TU ≤ 25%).

No Sidac, admitiu-se o teor de umidade da madeira seca ao ar livre, tanto de coníferas como de folhosas, igual a 16%, que é uma aproximação da média da umidade de equilíbrio higroscópica encontrada para diferentes regiões do Brasil (ALVARES *et al.*, 2017). Portanto, considera-se um TU de **12%** para madeira **seca em estufa** e TU de **16%** para madeira **seca ao ar livre**.

8.2 Apêndice B - Verificação das informações disponíveis nas referências consultadas

Lista de referências da madeira nativa (Tabela 15)

- 1) Punhagui (2014);
- 2) Da Silva Luz *et al.* (2020);
- 3) De Lima *et al.* (2019);
- 4) Romero *et al.* (2020);
- 5) De Melo *et al.* (2019);
- 6) Veríssimo *et al.* (1992);
- 7) Feldpausch *et al.* (2005);
- 8) Garcia (2013);
- 9) Mota (2018);
- 10) Gerwing (2005);
- 11) Numazawa *et al.* (2017);
- 12) Mendoza *et al.* (2017);
- 13) Mazzei (2010);
- 14) Johns, Barreto, Uhl (1996);
- 15) Uhl *et al.* (1991);
- 16) Barreto *et al.* (1997);
- 17) Campo, Punhagui, John (2021).

Lista de referências da madeira plantada (Tabela 16; Tabela 17; Tabela 18)

- 1) PUNHAGUI, 2014;
- 2) FERRO *et al.*, 2018b;
- 3) FERRO *et al.*, 2018a;
- 4) SILVA, 2017;
- 5) FISCHER *et al.* 2021;
- 6) SCHUMACHER, WITSCHORECK, CALIL, 2011;
- 7) WITSCHORECK, 2014;
- 8) LUDVICHAK *et al.*, 2016;
- 9) GATTO *et al.*, 2011;
- 11) BALBINOT *et al.*, 2008;
- 12) WATZLAWICK, 2003 ;
- 13) SIXEL, 2012;
- 14) SCHUMACHER *et al.*, 2013;
- 15) BIZON, 2006;
- 16) BIASI; ROCHA, 2003;
- 17) FONTES, 1994;
- 18) LOPES *et al.*, 2018;
- 19) SERPE; FILHO; ARCE, 2018;
- 20) BRAND *et al.*, 2002;
- 21) MOULIN, 2019;
- 22) ALMEIDA; SACONE; SOUSA, 2014;
- 23) MURARA JUNIOR; DA ROCHA; TRUGILHO, 2013;
- 24) BARBOSA *et al.*, 2014;
- 25) MANHIÇA, DA ROCHA, TIMOFEICZYK, 2013;
- 26) CHIES, 2005;
- 27) DOBNER JÚNIOR; HIGA; ROCHA, 2012.

Tabela 15 - Checklist das referências bibliográficas utilizadas para compor os indicadores ambientais da madeira nativa nesta versão do Sidac.

Informações que devem ser verificadas	Ref. 1	Ref. 2	Ref. 3	Ref. 4	Ref. 5	Ref. 6	Ref. 7	Ref. 8	Ref. 9	Ref. 10	Ref. 11	Ref. 12	Ref. 13	Ref. 14	Ref. 15	Ref. 16	Ref. 17
Identificação da publicação (autores, ano, local)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Período a que os dados se referem	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Local (região, cidade, estado) a que os dados se referem	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Fluxograma do processo	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim
Detalhamento do processo elementar (identificação do processo produtivo)	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Processo elementar possui diferencial (fluxos ou etapas específicas)	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Indica a representatividade dos dados	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
Adota algum critério de corte	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim
Publicação apresenta dados primários nacionais	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Publicação apresenta dados estimados nacionais	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim
Especificadas as incertezas dos fluxos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Possui fluxos de insumos materiais	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Possui fluxos de insumos energéticos	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Possui fluxos de água	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Possui fluxos de geração de resíduos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Indica unidade de referência dos fluxos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Unidade de referência é a mesma da unidade declarada adotada para o Sidac	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Não

Tabela 16 - Checklist das referências bibliográficas utilizadas para compor os indicadores ambientais da madeira plantada *Pinus* nesta versão do Sidac (CONTINUA).

Informações que devem ser verificadas	Ref. 1	Ref. 2	Ref. 3	Ref. 5	Ref. 11	Ref. 12	Ref. 13	Ref. 14	Ref. 15
Identificação da publicação (autores, ano, local)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Período a que os dados se referem	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não
Local (região, cidade, estado) a que os dados se referem	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Fluxograma do processo	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Detalhamento do processo elementar (identificação do processo produtivo)	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Processo elementar possui diferencial (fluxos ou etapas específicas)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Indica a representatividade dos dados	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Adota algum critério de corte	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Publicação apresenta dados primários nacionais	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Publicação apresenta dados estimados nacionais	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Especificadas as incertezas dos fluxos	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Possui fluxos de insumos materiais	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Possui fluxos de insumos energéticos	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Possui fluxos de água	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Possui fluxos de geração de resíduos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Indica unidade de referência dos fluxos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Unidade de referência é a mesma da unidade declarada adotada para o Sidac	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Tabela 17- Checklist das referências bibliográficas utilizadas para compor os indicadores ambientais da madeira plantada Pinus nesta versão do Sidac (CONCLUSÃO).

Informações que devem ser verificadas	Ref. 16	Ref. 17	Ref. 18	Ref. 19	Ref. 20	Ref. 21	Ref. 22	Ref. 23	Ref. 24	Ref. 25	Ref. 26	Ref. 27
Identificação da publicação (autores, ano, local)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Período a que os dados se referem	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Local (região, cidade, estado) a que os dados se referem	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Fluxograma do processo	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Detalhamento do processo elementar (identificação do processo produtivo)	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não
Processo elementar possui diferencial (fluxos ou etapas específicas)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Indica a representatividade dos dados	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Adota algum critério de corte	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Publicação apresenta dados primários nacionais	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Publicação apresenta dados estimados nacionais	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Especificadas as incertezas dos fluxos	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não
Possui fluxos de insumos materiais	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Possui fluxos de insumos energéticos	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Possui fluxos de água	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Possui fluxos de geração de resíduos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Indica unidade de referência dos fluxos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Unidade de referência é a mesma da unidade declarada adotada para o Sidac	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Tabela 18 - Checklist das referências bibliográficas utilizadas para compor os indicadores ambientais da madeira plantada Eucalipto nesta versão do Sidac.

Informações que devem ser verificadas	Ref. 1	Ref. 4	Ref. 6	Ref. 7	Ref. 8	Ref. 9
Identificação da publicação (autores, ano, local)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Período a que os dados se referem	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não
Local (região, cidade, estado) a que os dados se referem	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Fluxograma do processo	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Detalhamento do processo elementar (identificação do processo produtivo)	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
Processo elementar possui diferencial (fluxos ou etapas específicas)	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Indica a representatividade dos dados	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Adota algum critério de corte	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
Publicação apresenta dados primários nacionais	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Publicação apresenta dados estimados nacionais	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Especificadas as incertezas dos fluxos	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Possui fluxos de insumos materiais	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Possui fluxos de insumos energéticos	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
Possui fluxos de água	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
Possui fluxos de geração de resíduos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Indica unidade de referência dos fluxos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Unidade de referência é a mesma da unidade declarada adotada para o Sidac	Não	Sim	Não	Não	Não	Não