UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM AGRONEGÓCIOS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS

GIOVANNA ISABELLE BOM DE MEDEIROS FLORINDO

OTIMIZAÇÃO DO USO DA TERRA COM SISTEMAS PRODUTIVOS FLORESTAIS NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL: UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO BASEADA NO DESEMPENHO AMBIENTAL E ECONÔMICO

PORTO ALEGRE / RS
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM AGRONEGÓCIOS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS

GIOVANNA ISABELLE BOM DE MEDEIROS FLORINDO

OTIMIZAÇÃO DO USO DA TERRA COM SISTEMAS PRODUTIVOS FLORESTAIS NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL: UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO BASEADA NO DESEMPENHO AMBIENTAL E ECONÔMICO

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios do Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Agronegócios.

Orientador: Prof. Dr. Edson Talamini
Coorientador: Prof. Dr. Arthur G. Fett Neto

PORTO ALEGRE / RS

2017

CIP - Catalogação na Publicação

Florindo, Giovanna Isabelle Bom de Medeiros
Otimização do uso da terra com sistemas produtivos florestais no estado de Mato Grosso do Sul: uma análise multicritério baseada no desempenho ambiental e econômico. / Giovanna Isabelle Bom de Medeiros Florindo. -- 2017.
181 f.
Orientador: Edson Talamini.

Coorientador: Arthur Germano Fett-Neto.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios, Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Porto Alegre, BR-RS, 2017.

1. bioeconomia. 2. ecologia industrial. 3. ecoeficiência. 4. créditos de carbono. 5. programação linear. I. Talamini, Edson, orient. II. Fett-Neto, Arthur Germano, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Dedico esta tese aos meus pais Mara e Marcos;

meu esposo Thiago;

e Kiara.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios do Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios (CEPAN), pela oportunidade de crescimento profissional.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

Aos professores e colegas, pela troca de conhecimentos e experiências e pelas amizades que construímos nesse período.

Ao professor Edson Talamini pela orientação, disponibilidade, apoio constante e, em especial, por oportunizar que eu me desafiasse sem limites na interdisciplinaridade do agronegócio.

À banca examinadora, pelas valiosas contribuições e inspirações para seguir a minha jornada como pesquisadora.

À minha família e amigos que sempre torceram por mim e aos anjos em forma de pessoas que iluminaram o meu caminho quando encontrei dificuldades.

Aos meus pais Mara e Marcos, meu esposo Thiago e nossa filhota Kiara, que tornaram este sonho possível, me apoiando, compreendendo e ajudando, cada um a sua maneira, com amor, carinho e compreensão.

"O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis"

José de Alencar

RESUMO

Para atender à crescente demanda global por bioprodutos, a área de florestas plantadas com fins produtivos tende a continuar aumentando no mundo. As espécies de pinus e eucalipto são as mais cultivadas no mundo visando múltiplos usos materiais, como celulose e madeira serrada e ainda, no caso do pinus, a produção de breu e terebintina. Estes são derivados da goma-resina de pinus, uma das principais fontes de químicos verdes que substituem derivados do petróleo, com ampla aplicação nas indústrias química, farmacêutica, de alimentos e biocombustíveis. No entanto, há várias controvérsias sobre os possíveis impactos negativos destas florestas, como o potencial invasivo, a influência sobre o balanço hídrico e a biodiversidade, bem como a competição com outros tipos de uso da terra. Em razão disso há a necessidade de se otimizar o uso da terra de modo que sejam alcançadas melhorias quanto à sustentabilidade em seu sentido mais amplo. O objetivo deste estudo foi comparar os desempenhos ambiental e econômico de sistemas produtivos florestais de pinus e eucalipto para fins múltiplos, visando a alocação otimizada do uso da terra no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. A Avaliação do Ciclo de Vida, Custeio do Ciclo de Vida e análises de indicadores financeiros e econômicos foram utilizados para avaliar os potenciais impactos de um hectare de floresta por ano de ciclo, tendo como base a análise de sensibilidade do Incremento Médio Anual. O escopo teve abrangência da fase agrícola à industrial de florestas de pinus e eucalipto manejadas para a produção de celulose e madeira serrada em ambos os casos e, adicionalmente para o pinus, a produção de breu e terebentina, a partir da extração da goma-resina e como subproduto do processo kraft de produção de celulose. Foram aplicados os métodos multicritério de tomada de decisão TOPSIS para hierarquizar os sistemas de produção em diferentes combinações de fases e critérios e a otimização multiobjetivo para alocar o uso da terra de acordo com diferentes restrições de área e eficiência. As principais contribuições foram a identificação dos *hotspots* e suas possíveis soluções para a melhoria do desempenho ambiental e econômico do setor florestal e a proposição de um modelo de alocação otimizada do uso da terra por sistemas de produção florestal. A adoção de fontes de energia mais limpas e o uso de máquinas, equipamentos e veículos mais eficientes são as principais soluções indicadas para melhorar os desempenhos ambiental e econômico do setor florestal. Os sistemas de produção de pinus para celulose e de pinus para madeira serrada, breu e terebentina foram apontados como as melhores soluções para otimizar o uso da terra. Por isso devem ser considerados como alternativas para a expansão e diversificação da cadeia produtiva florestal sul-matogrossense.

Palavras-chave: bioeconomia, ecologia industrial, ecoeficiência, créditos de carbono, programação linear.

ABSTRACT

To meet the growing global demand for bioproducts, the area of planted forests for productive purposes tends to continue to increase. The species of pine and eucalyptus are the most cultivated in the world, aiming at multiple material uses, such as pulp and sawn wood and, in the case of pinus, the production of rosin and turpentine. These are derived from pine oleoresin, one of the major sources of green chemicals that replace petroleum derivatives, with wide application in the chemical, pharmaceutical, food and biofuel industries. However, there are several controversies about the possible negative impacts of these forests, like invasive potential, influence on water balance and biodiversity, as well as competition with other types of land use. For this reason, there is a demand to optimize land use in order to achieve improvements in sustainability in the broadest sense. The objective of this study was to compare the environmental and economic performance of multipurpose pine and eucalypt forest productive systems, aiming at the optimized allocation of land use in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. Life Cycle Assessment, Life Cycle Costing and financial and economic indicator analyzes were used to evaluate the potential impacts of one hectare of forest per cycle year, based on the sensitivity analysis of the Average Growth Rate. The scope was from the agricultural to the industrial stage of pine and eucalyptus forests managed for the production of pulp and sawn wood in both cases and, in addition to the pine, the production of rosin and turpentine, from the extraction of pine oleoresin and as a by-product of the kraft pulp production process. The TOPSIS multi-criteria decision-making method was applied to hierarchize production systems in different combinations of phases and criteria and the multiobjective optimization was used to allocate land use according to different area and efficiency constraints. The main contributions were the identification of hotspots and their possible solutions to improve the environmental and economic performance of the forest sector and the proposition of an optimized allocation model of land use by forest production systems. The adoption of cleaner energy sources and the use of more efficient machines, equipment and vehicles are the main solutions indicated to improve the environmental and economic performance of the forestry sector. The pine production systems for pulp, sawn timber, rosin and turpentine were identified as the best solutions to optimize land use. Therefore, they should be considered as alternatives for the expansion and diversification of the South-Matogrossense forest production chain.

Keywords: biobased economy, industrial ecology, ecoefficiency, carbon credit, linear goal programming.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1- Variação nos estoques de carbono na biomassa 56
Equação 2 – Carbono total na biomassa nos tempos t1 e t2..... 56
Equação 3 – Pegada hídrica verde..... 57
Equação 4 – Pegada hídrica verde devido à evapotranspiração 57
Equação 5 – Componente verde do uso de água pela cultura (m^3/ha) 57
Equação 6 – Índice de Lucratividade Anualizado..... 58
Equação 7 – Desvio positivo (TOPSIS) 61
Equação 8 – Desvio negativo (TOPSIS) 61
Equação 9 – Distância da solução ideal (TOPSIS)..... 61
Equação 10 – Função objetivo maximizar 63
Equação 11 – Função objetivo minimizar..... 63
Equação 12 – Restrição de área..... 63
Equação 13 – Restrição de não negatividade 63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do desenvolvimento metodológico da tese.....45
Figura 2 - Localização de Ribas do Rio Pardo no estado de Mato Grosso do Sul..... 48
Figura 3 - Aglomerações industriais do segmento de florestas plantadas em Mato Grosso do Sul..... 51
Figura 4 - Escopo da análise ambiental e econômica “cradle to gate” dos sistemas de produção florestais analisados..... 52
Figura 5 – Potenciais impactos ambientais da fase agrícola de um hectare por ano do ciclo de cada sistema, considerando variações na produtividade dos sistemas analisados..... 72
Figura 6 – Comparação dos potenciais impactos ambientais da fase agrícola de um hectare por ano do ciclo e ranking dos sistemas, considerando a produtividade média... 73
Figura 7 – Contribuição de cada atividade para a categoria aquecimento global (kg CO_2 eq).....75
Figura 8 – Contribuição de cada atividade para a categoria formação fotoquímica de ozônio (kg C_2H_4 eq).....76
Figura 9 – Contribuição de cada atividade para a categoria eutrofização (kg PO_4-eq).....76
Figura 10 – Contribuição de cada atividade para a categoria acidificação (kg SO_2 eq).....77
Figura 11 – Contribuição de cada atividade para a categoria toxicidade humana (CTUh)..... 77
Figura 12 – Contribuição de cada atividade para a categoria ecotoxicidade (CTUe).....78
Figura 13 - Potenciais impactos ambientais do processamento industrial das matérias-primas produzidas em um hectare por ano de ciclo de produção agrícola..... 80
Figura 14 – Ranking dos sistemas pela análise da fase industrial de forma isolada.. 80
Figura 15 – Integração dos potenciais impactos ambientais das fases agrícola e industrial de um hectare por ano.. 83
Figura 16 – Ranking dos sistemas pelo critério ambiental, considerando as fases agrícola e industrial. 84
Figura 17 - Ranking da fase agrícola dos sistemas com base no critério econômico..... 87
Figura 18 - Ranking dos sistemas integrados pela fase agrícola e industrial, de acordo com o critério econômico 90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Argumentos e contrapontos apresentados na literatura científica sobre os tipos de impactos atribuídos às florestas plantadas de pinus e eucalipto e seus produtos 32
Quadro 2 – Principais abordagens aplicadas em estudos sobre Ecologia Industrial no agronegócio. 37
Quadro 3 – Descrição da fase industrial dos sistemas de produção florestal 50
Quadro 4 - Influência da produtividade no desempenho dos sistemas de acordo com o escopo e critério analisados..... 92
Quadro 5 – Otimização do uso da terra considerando critérios ambiental e econômico da fase agrícola dos sistemas analisados, com pesos idênticos..... 94
Quadro 6 – Otimização do uso da terra considerando critérios ambiental e econômico da integração das fases agrícola e industrial dos sistemas analisados, com pesos idênticos..... 95
Quadro 7 – Otimização do uso da terra considerando critérios ambiental e econômico da integração das fases agrícola e industrial dos sistemas analisados, priorizando o critério ambiental..... 96
Quadro 8 – Otimização do uso da terra considerando critérios ambiental e econômico da integração das fases agrícola e industrial dos sistemas analisados, priorizando o critério econômico..... 97

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACV - Avaliação do Ciclo de Vida

BPF - Baixo Ponto de Fluidez

CO_2 - Dióxido de carbono

CCV - Custeio do Ciclo de Vida

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ET_c - Evapotranspiração

ET_o - Evapotranspiração de referência

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ILA - Índice de Lucratividade Anualizado

IMA - Incremento Médio Anual

IS - Índice de sítio

IPCC - Intergovernmental Panel of Climate Change

ISO - International Organization for Standartization

MTDM - Métodos de Tomada de Decisão Multicritério

PEF/MS - Plano Estadual de Desenvolvimento Sustentável de Florestas Plantadas

TMA - Taxa Mínima de Atratividade

TOPSIS - Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution

UNEP - United Nations Environment Programme

VBA - Valor Adicionado Bruto

VOCs - Compostos Orgânicos Voláteis

VPL - Valor Presente Líquido

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição do espaçamento e densidade dos plantios dos sistemas analisados, de acordo com a finalidade de produção.....50
Tabela 2 - Descrição das categorias de impacto analisadas pelo método CML.....54
Tabela 3 - Descrição das categorias de impacto analisadas pelo método USEtox.....55
Tabela 4 – Volume de madeira produzido por desbaste e/ou corte de cada sistema para diferentes Incrementos Médios Anuais simulados.....65
Tabela 5 – Sequestro de CO_2 baseado no estoque de carbono na biomassa acima e abaixo do solo por desbaste e/ou corte e ciclo, considerando variações na produtividade da fase agrícola dos sistemas de produção florestais.....67
Tabela 6 – Emissões líquidas do ciclo de produção por hectare e anualizadas por hectare.....67
Tabela 7 – Demanda por água referente às produtividades mínima, máxima e média dos sistemas por unidade de produto, por hectare e por hectare ao ano.....74
Tabela 8 - Potenciais impactos ambientais por hectare e por ano de ciclo de produção da fase agrícola.....75
Tabela 9 - Potenciais impactos ambientais de um hectare por ano de ciclo da fase agrícola.....75
Tabela 10 - Potenciais impactos da integração das fases agrícola e industrial da produção de 1 hectare em um ano.....82
Tabela 11 – Análise de sensibilidade do resultado dos potenciais impactos ambientais dos sistemas de produção florestal, de acordo com a variação na produtividade.....84
Tabela 12 - Preços de referência utilizados para o cálculo das receitas de cada sistema.....85
Tabela 13 - Custos, receitas e Índice de Lucratividade Anualizado (ILA) de cada sistema, onde “CC” indica as receitas e ILA com a simulação de venda de créditos de carbono..... 86
Tabela 14 - Valor Adicionado Bruto (VAB) gerado pelos sistemas industriais durante o ciclo e por ano.....89
Tabela 15 - Ranking dos sistemas com base no método multicritério TOPSIS.....91

SUMÁRIO

CAPÍTULO I 16
APRESENTAÇÃO DA TESE 16
1 INTRODUÇÃO 16
1.2 OBJETIVO GERAL 20
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 20
1.1 JUSTIFICATIVA 21
CAPÍTULO II 23
REVISÃO DE LITERATURA 23
1 IMPACTOS DAS FLORESTAS PLANTADAS DE PINUS E EUCALIPTO COM FINS PRODUTIVOS 23
1.1. PLANTIOS DE ESPÉCIES FLORESTAIS EXÓTICAS: POTENCIAL DE INVASÃO E EFEITOS NA BIODIVERSIDADE 23
1.2 USO DA ÁGUA, CONTROLE DE EROSÃO E RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS 25
1.3 EMISSÕES, SEQUESTRO E ESTOQUE DE CARBONO 27
1.4 IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS 28
1.5 BIOENERGIA E BIOPRODUTOS 30
1.6 SÍNTESE 31
2 CONTRIBUIÇÕES DA ECOLOGIA INDUSTRIAL PARA UM AGRONEGÓCIO MAIS SUSTENTÁVEL 35
2.1 O CAMPO DE ESTUDOS DA ECOLOGIA INDUSTRIAL 35
2.2 ANÁLISE DO FLUXO DE MATERIAIS E SUBSTÂNCIAS 37
2.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS 41
2.4 SIMBIOSE INDUSTRIAL E FONTES DE PRODUTOS E ENERGIA *BIO-BASED* 42
2.5 GESTÃO AMBIENTAL NA CADEIA PRODUTIVA 43
2.6 SÍNTESE 44
CAPÍTULO III 46
PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 46
1 LOCAL DE PESQUISA 46
2 DESCRIÇÃO DA FASE AGRÍCOLA DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO FLORESTAL 48
3 ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DA FASE AGRÍCOLA 50
4 DESCRIÇÃO DA FASE INDUSTRIAL DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO FLORESTAL 51
5 COLETA DE DADOS DA FASE INDUSTRIAL 52

7 UNIDADE FUNCIONAL 53
8 INVENTÁRIO 55
9 ANÁLISE DE IMPACTOS 55
9.1 IMPACTO AMBIENTAL 55
9.2 IMPACTO ECONÔMICO 60
10 ALOCAÇÃO DE IMPACTOS 61
11 MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO 61
11.1 TOPSIS 62
11.2 OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO 63
CAPÍTULO IV 67
RESULTADOS E DISCUSSÕES 67
1 PRODUTIVIDADE DA FASE AGRÍCOLA 67
2 IMPACTOS AMBIENTAIS 68
2.1 CÁLCULO DO SEQUESTRO DE CARBONO E EMISSÕES LÍQUIDAS 68
2.2 CÁLCULO DA DEMANDA POR ÁGUA 70
2.3 POTENCIAIS IMPACTOS AMBIENTAIS DA FASE AGRÍCOLA 72
2.4 POTENCIAIS IMPACTOS AMBIENTAIS DA FASE INDUSTRIAL 81
3.1 FASE AGRÍCOLA 87
3.2 FASE INDUSTRIAL 90
4 TOMADA DE DECISÃO COM BASE EM MÉTODOS MULTICRITÉRIO 92
4.1 HIERARQUIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO FLORESTAL PELO MÉTODO TOPSIS 92
4.2 OTIMIZAÇÃO DO USO DA TERRA 94
CAPÍTULO V 103
CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES 103
REFERÊNCIAS 105
APÊNDICES 120
ANEXO 162

CAPÍTULO I

APRESENTAÇÃO DA TESE

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas estão desafiando o atual modelo de desenvolvimento econômico baseado em recursos fósseis e as expectativas de crescimento da população mundial indicam que haverá maior pressão sobre os recursos naturais necessários para o bem-estar humano (INGRAO *et al.*, 2016). Em decorrência disso, tem se intensificado o debate sobre a transição para um novo paradigma de crescimento econômico: a bioeconomia (KLEINSCHMIT *et al.*, 2017; MUSTALAHTI, 2017; PÜLZL; KLEINSCHMIT; ARTS, 2014).

O conceito de bioeconomia é discutido a partir de duas perspectivas principais, uma industrial e outra centrada nos bens públicos (SCHMID; PADEL; LEVIDOW, 2012). A primeira refere-se a uma economia que engloba a produção de recursos biológicos renováveis e a sua conversão em alimentos, produtos bio-based e bioenergia, assim como os bens públicos relacionados (COMISSÃO EUROPEIA, 2012). Esta economia inclui a agricultura, silvicultura, pesca, a indústria de alimentos, papel e celulose e parte das indústrias química, energética e de biotecnologia (COMISSÃO EUROPEIA, 2012). De forma complementar e um tanto paradoxal, existe também a preocupação com o uso mais sustentável de recursos naturais escassos e a conservação dos serviços ecossistêmicos, bens públicos que devem ser protegidos pela adoção de modos de produção que sejam mais eficientes (SCHMID; PADEL; LEVIDOW, 2012).

Em uma visão integradora, pode-se afirmar que as florestas são fundamentais para se conquistar uma *biobased economy*. As características ecológicas, funções e processos desses ecossistemas se traduzem em diversos benefícios que, direta ou indiretamente contribuem para o bem-estar humano (COSTANZA *et al.*, 1997), seja por meio serviços de regulação, provisão ou mesmo culturais (TEEB, 2010).

As florestas atuam como as principais reguladoras dos ciclos de carbono, energia e água, pois fornecem as bases para o armazenamento de carbono, o resfriamento da superfície terrestre e a distribuição dos recursos hídricos (ELLISON *et al.*, 2017), como também contribuem para a biodiversidade (FAO, 2016). Adicionalmente, possuem função recreativa e,

em algumas comunidades, representam uma identidade cultural (DIAZ-BALTEIRO *et al.*, 2016; TURNER *et al.*, 2011; BOXALL *et al.* 1996).

Os serviços de provisão merecem destaque, pois no contexto da bioeconomia, espera-se que a demanda por produtos florestais aumente continuamente, devido ao amplo potencial de aplicação como alternativas a recursos de origem fóssil (FAO, 2016). Além dos usos mais tradicionais da madeira na fabricação de móveis, construção civil e na produção de lenha e carvão, avanços tecnológicos estão possibilitando a ampliação dos bioprodutos e bioenergias de base florestal.

Estudos comprovam o potencial da biomassa para a produção de biocombustíveis (WINJOBI *et al.*, 2016; DAYSTAR *et al.*, 2015; TRAN *et al.*, 2011), polímeros (GRISON *et al.*, 2016) e químicos verdes, como o ácido levulínico (VICTOR; PULIDIND; GEDANKEN, 2014) e o breu e terebentina (RODRIGUES *et al.*, 2013). Além de serem viáveis tecnicamente, estas alternativas aos recursos fósseis para fins materiais e energéticos promovem a redução dos impactos ambientais associados ao produto final, quando comparadas aos produtos que elas substituem (GRISON *et al.*, 2016; VICTOR; PULIDIND; GEDANKEN *et al.*, 2014; RODRIGUES-CORRÊA *et al.*, 2012; OHLSTRÖM *et al.*, 2001).

Pelo crescente interesse nos bioprodutos e a necessidade de diminuir a pressão sobre as florestas naturais para o fornecimento de matérias-primas, a tendência é a de que as florestas plantadas com fins produtivos continuem a se expandir (PIRARD; PETIT; BARAL, 2017). Florestas plantadas com fins produtivos são compostas por espécies introduzidas ou nativas, estabelecidas através do plantio ou semeadura com foco na produção de madeira, assim como de produtos não-madeireiros (FAO, 2005). De acordo com estimativas recentes, a área de florestas plantadas no mundo é de 290 milhões de hectares (FAO, 2015), dos quais mais da metade estão ocupados por florestas que possuem a função produtiva como a principal ou, pelo menos, como parte do objetivo de manejo (FAO, 2010).

Por outro lado, existe uma série de controvérsias sobre os impactos que podem ser associados às florestas plantadas com fins produtivos. Especialmente as de pinus e eucalipto, que possuem juntas quase 70% da área plantada no mundo para esta finalidade (INDUFOR, 2012). As críticas têm como principal foco os possíveis impactos negativos que estas florestas podem ocasionar ao meio ambiente e à comunidade local, pelo uso de espécies exóticas (DODET; COLLET, 2012), o seu potencial invasivo (LORENTZ; MINOGUE, 2015), os efeitos sobre a disponibilidade hídrica (CADEMUS *et al.*, 2014) e a biodiversidade (VANCE *et al.*, 2014), além de conflitos sociais sobre a posse de terra e do uso de recursos naturais (KRÖGER, 2012).

A expansão de plantios florestais de pinus e eucalipto no Brasil iniciou-se na década de 1960 baseada em incentivos fiscais para suprir inicialmente, a demanda da indústria de papel e celulose e depois outros importantes segmentos, como a produção de painéis, siderurgia e secagem de grãos (MOREIRA, SIMIONI, OLIVEIRA, 2017). Pode-se considerar que este processo ocorreu de forma rápida, acentuando as percepções polêmicas quanto às florestas plantadas para fins comerciais, tanto por parte da academia como da sociedade.

No país, as pressões ambientais sobre as plantações florestais têm sido maiores do que as exercidas sobre outras atividades agropecuárias e são acentuadas pela disseminada alegação de que o plantio de florestas ocorre sobre áreas agrícolas (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2016). Apesar de não haver nenhum indício que a confirme (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2016), a crescente demanda por recursos biológicos renováveis implica em pressões adicionais sobre as florestas e cultivos agrícolas (INGRAO *et al.*, 2016), destinados à produção de alimentos, fibras, bioprodutos, bioenergia e outros bens públicos (COMISSÃO EUROPEIA, 2012). Como consequência, originam-se conflitos quanto ao uso de recursos, principalmente a terra, por se tratar de um recurso finito do qual dependem diretamente a economia e a qualidade de vida humana (SMITH *et al.*, 2014).

Embora os produtos da agricultura, silvicultura e outros usos da terra sejam essenciais, também possuem impacto ambiental significativo durante o seu ciclo de vida (BRANDÃO, 2010). O setor AFOLU (*Agriculture, Forestry, and Other Land Use*) é responsável por quase um quarto das emissões antropogênicas de gases do efeito estufa, em sua maioria compostas de emissões geradas pelo desmatamento, pecuária e manejo do solo e nutrientes (SMITH *et al.*, 2014).

Igualmente como os impactos ambientais, aspectos socioeconômicos também precisam ser considerados a fim de otimizar o uso da terra e alcançar melhorias quanto à sustentabilidade em seu sentido mais amplo (BRANDÃO, 2016). Porém, a alocação do uso da terra para fins concorrentes é complexa devido a sinergias e multifuncionalidades entre os diferentes usos e por isso requer uma comparação sistemática de alternativas (BRANDÃO, 2016).

O estado de Mato Grosso do Sul é um dos destaques recentes do setor florestal brasileiro e um bom exemplo para elucidar a importância da alocação otimizada do uso da terra. As florestas concentram-se na região leste do estado, onde há dificuldade em produzir grãos devido a predominância de solos arenosos de baixa fertilidade, suscetíveis a erosões e com necessidade de altos investimentos para a sua correção (MATO GROSSO DO SUL, 2009). Devido a sua adaptabilidade a essas condições, as florestas são uma opção para tornar produtivas uma vasta

área de pastagens degradadas devido a prática extensiva da bovinocultura de corte realizada na região.

Em Mato Grosso do Sul aproximadamente metade da área de pastagens cultivadas estão degradadas ou em algum estágio de degradação, o que motivou a criação do Programa Estadual de Recuperação de Pastagens Degradadas (SEMAGRO, 2017). O Programa oferece incentivo fiscal para a recuperação de áreas degradadas (SEMAGRO, 2017) e ainda há linhas de financiamento como o FCO (Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste) Rural Verde (SUDECO, 2017), destinado a sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta e o Programa ABC (Agricultura de Baixo Carbono), que financia implantação de florestas comerciais visando reduzir impactos ambientais das atividades agropecuárias (BNDES, 2017).

Estas ações incentivam a busca pelo aumento da produtividade da atividade pecuária e a continuidade da expansão de sistemas produtivos florestais na região. O estado com maior expansão florestal e o terceiro maior em área plantada (IBÁ, 2017) deverá manter seu protagonismo no cenário nacional nos próximos anos, já que a diversificação da cadeia produtiva florestal é também uma meta de desenvolvimento do governo estadual.

O Plano Estadual de Desenvolvimento Sustentável de Florestas Plantadas (PEF/MS) resultou da reunião de autoridades governamentais, dirigentes de empresas e entidades privadas do setor florestal para a projeção da demanda para o ano de 2030 nos segmentos de celulose, carvão, madeira sólida, painéis e lenha (MATO GROSSO DO SUL, 2009). No entanto, o plano baseou-se no eucalipto como matéria-prima principal para estas indústrias, sendo que apenas uma parte da demanda de madeira sólida foi estimada com o suprimento por florestas de pinus (MATO GROSSO DO SUL, 2009).

Além de concorrer com o eucalipto nos mesmos mercados, o pinus pode ainda contribuir para a diversificação pretendida pelo setor em outros segmentos. O breu e a terebentina produzidos a partir da goma-resina extraída do pinus e como subproduto do processo de produção de celulose de pinus são substâncias químicas renováveis que substituem derivados de petróleo, com aplicações em uma ampla gama de indústrias, como a de químicos, farmacêuticos, alimentos e biocombustíveis (RODRIGUES-CORRÊA *et al.*, 2012) (Apêndice 1).

As florestas de pinus e eucalipto são as mais plantadas ao redor do mundo devido às características semelhantes que possuem e que as conferem elevado interesse econômico (INDUFOR, 2012). Dentre elas, o crescimento rápido, a alta produtividade e a adaptabilidade a uma diversidade de ambientes (DODET; COLLET, 2012). Porém alguns fatores podem fazer com que a produtividade e a qualidade da produção de plantios de pinus e eucalipto diferenciem

significativamente e, juntamente com condições locais de mercado, influenciem os tomadores de decisão a optarem por um gênero em detrimento de outro.

No Brasil, a área plantada com pinus vem diminuindo anualmente devido, principalmente, à substituição por eucalipto nos estados onde esta cultura não é tradicional (IBÁ 2017). O Incremento Médio Anual (IMA) do eucalipto pode variar de 30 a 40 m^3/ha/ano, enquanto que o de pinus situa-se na faixa de 25 a 35 m^3/ha/ano (IBÁ, 2017). Ou seja, em geral a produtividade média do eucalipto é superior à do pinus, o que pode explicar a atração dos produtores e indústrias a esta opção de investimento. No entanto, esta produtividade é resultante de elevados investimentos em tecnologias e práticas de manejo (IBÁ, 2017), que podem variar muito ainda que em uma mesma região.

Logo, considerando o contexto da crescente demanda por bioprodutos, os impactos ambientais e econômicos destes produtos e a competição pelo uso da terra por diferentes gêneros de florestas, é relevante questionar: Quais sistemas produtivos florestais deveriam ser priorizados para que o uso da terra seja econômica e ambientalmente mais eficiente no processo de expansão das florestas plantadas com fins produtivos no estado de Mato Grosso do Sul?

1.2 OBJETIVO GERAL

Comparar o desempenho ambiental e econômico de sistemas produtivos florestais de pinus e eucalipto para a produção de celulose, madeira serrada, breu e terebentina, visando a alocação otimizada do uso da terra no estado de Mato Grosso do Sul.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Estimar a produtividade agrícola dos sistemas produtivos florestais de pinus e eucalipto manejados para a produção de celulose, madeira serrada, breu e terebentina.

b) Determinar a ecoeficiência de sistemas produtivos florestais de pinus e eucalipto com diferentes finalidades, considerando a variação na produtividade agrícola.

c) Hierarquizar os sistemas produtivos florestais de pinus e eucalipto manejados para a produção de celulose, madeira serrada, breu e terebentina, de acordo com os critérios ambiental e econômico.

d) Determinar a combinação ótima de sistemas produtivos florestais de pinus e eucalipto, manejados para a produção de celulose, madeira serrada, breu e terebentina, para

recomendar o uso da terra por florestas plantadas com fins produtivos no estado de Mato Grosso do Sul que seja mais eficiente sob os aspectos ambiental e econômico.

1.1 JUSTIFICATIVA

O agronegócio tem como desafio atender a crescente demanda por produtos *bio-based* e, ao mesmo tempo, conservar os recursos naturais e o funcionamento dos ecossistemas, dos quais depende. Por essa razão, há a necessidade de avaliar os possíveis impactos que as atividades do agronegócio ocasionar para o meio ambiente. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método normatizado pela ISO (*International Organization for Standartization*) amplamente aceito para avaliar impactos ambientais de processos e produtos ao longo do seu ciclo de vida (ISO, 2006). Embora tenha sido aplicada em pesquisas do setor florestal desde a década de 1990, os estudos são escassos, com escopo geralmente limitado e ainda sem um modelo consistente para a aplicação da ACV na produção florestal (KLEIN *et al.*, 2015).

O Custeio do Ciclo de Vida (CCV) é outra importante ferramenta utilizada de forma análoga à abordagem com enfoque ambiental, mas que tem como objetivo mensurar os custos associados ao ciclo de vida de um processo ou produto (KLOEPFFER, 2008). Assim, a aplicação conjunta de ACV, CCV e outras análises financeiras e econômicas pode gerar uma ampla gama de indicadores essenciais para se avaliar sistemas produtivos inseridos na bioeconomia.

No entanto, os resultados gerados por esses métodos só ganham significado e relevância prática quando podem apoiar os tomadores de decisão. Nesse sentido, a modelagem é a ferramenta que possibilita identificar a combinação ideal do uso da terra que atenda às necessidades da sociedade de forma mais sustentável (BRANDÃO, 2010). Por essa razão, Métodos de Tomada de Decisão Multicritério (MTDM) estão sendo cada vez mais utilizados para avaliar indicadores de sustentabilidade em diversos setores (DIAZ-BALTEIRO *et al.*, 2016), principalmente em sistemas agrícolas (KAMALI *et al.*, 2017).

Nesta tese, propôs-se a integração destes métodos para a alocação otimizada do uso da terra, considerando um escopo amplo e detalhado para comparar duas espécies concorrentes para os mesmos fins. Esta abordagem metodológica ainda não foi utilizada por nenhum estudo sobre florestas plantadas com fins produtivos que tenha sido identificado na literatura científica e por isso constitui a novidade do estudo.

Como a variação na produtividade dos sistemas tem importantes implicações para os desempenhos ambiental e econômico e a variabilidade no manejo silvicultural dificulta a

representação de como a atividade é executada na região, optou-se por simular os sistemas de produção florestal. Este termo foi utilizado para fazer referência da fase agrícola das florestas plantadas com fins produtivos até a industrialização das matérias-primas por elas geradas.

As principais contribuições da tese foram: a identificação dos *hotspots* e suas possíveis soluções para a melhoria do desempenho ambiental e econômico do setor florestal; e a proposição de um modelo de alocação otimizada do uso da terra por sistemas de produção florestal. A condução metodológica tem implicações científicas, do ponto de vista da novidade do estudo, bem como práticas, uma vez que pode auxiliar a tomada de decisão quanto à elaboração de políticas que visem ampliar benefícios ambientais e econômicos da cadeia produtiva florestal.

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo é divido em dois tópicos que têm por objetivo situar em que contexto de debate científico se justifica e se fundamenta esta tese. No primeiro, são apontados os principais impactos ambientais e socioeconômicos, positivos e negativos, atribuídos às florestas plantadas de pinus e eucalipto com fins produtivos. Em seguida, é feita a conceitualização da Ecologia Industrial e a descrição das principais abordagens por meio das quais este campo de estudos tem contribuído para lidar com os impactos das atividades humanas relacionadas ao agronegócio, do qual o setor florestal faz parte.

1 IMPACTOS DAS FLORESTAS PLANTADAS DE PINUS E EUCALIPTO COM FINS PRODUTIVOS

O debate sobre os possíveis impactos da expansão de florestas plantadas com fins produtivos é extenso e ainda bastante controverso. Tendo em vista o papel dessas florestas em prover importantes serviços ecossistêmicos e, em especial, serem fontes de uma variedade de recursos biológicos renováveis necessários à concepção de uma bioeconomia, é fundamental analisar essa questão de forma ampla e detalhada.

Nesta seção, são descritos os principais impactos ambientais, econômicos e sociais atribuídos às florestas plantadas de pinus e eucalipto, bem como de seus produtos, citados na literatura científica internacional. Devido à quantidade significativa de tipos de impactos identificados, foi necessário dividi-los em grupos afins para facilitar a discussão.

1.1. PLANTIOS DE ESPÉCIES FLORESTAIS EXÓTICAS: POTENCIAL DE INVASÃO E EFEITOS NA BIODIVERSIDADE

A área de florestas plantadas com espécies exóticas vem aumentando ao redor do mundo para atender demandas de cunho econômico e ambiental (DODET; COLLET, 2012). Dentre elas, destacam-se as espécies do gênero *Pinus* spp., originário das zonas temperadas e *Eucalipto* spp., das zonas tropicais (FAO, 2016).

As espécies desses gêneros possuem características vantajosas em relação a outras e que podem facilitar um processo de invasão. Dentre elas, taxas de mortalidade baixas, adaptabilidade a uma ampla variedade de habitats, capacidade de sustentar crescimento até idade avançada (mais de 150 anos) e tolerância ao fogo, pragas e doenças (KUSH *et al.*, 2004), especialmente àquelas que não são de seu habitat nativo. Além disso, são de fácil estabelecimento, rápido crescimento, alta pressão de propagação e baixa ou intermediária tolerância à sombra (DODET; COLLET, 2012).

Mas é preciso ressaltar que a maioria das invasões por espécies florestais são resultado de introduções voluntárias, principalmente por meio de plantações comerciais. Estas por si só geram distúrbios na cobertura vegetal, criam redes de transporte e abrem amplas áreas de plantação, podendo favorecer o processo de invasão (DODET; COLLET, 2012).

Embora a invasão seja reconhecida como um fenômeno indesejável, os estudos acerca do tema têm sintetizado conclusões e derivado algumas generalizações quanto a esse aspecto do pinus (DODET; COLLET, 2012). Do mesmo modo, há incertezas quanto ao risco de invasão do eucalipto (LORENTZ; MINOGUE, 2015), sobre o qual estudos de campo apontam que a velocidade de dispersão é menor do que o preconizado por avaliações de risco prévias (VANCE *et al.*, 2014).

Por essa razão, é essencial compreender as dinâmicas da invasão, as características das árvores que favorecem esse fenômeno e os tipos de habitats que geralmente são invadidos pelas plantações florestais (DODET; COLLET, 2012). Isto se aplica também à crítica de que a biodiversidade é negativamente afetada nessas áreas.

Estudos sugerem que a relação entre cultivos florestais de curta rotação e biodiversidade provavelmente dependerá do tipo de ecossistema ocupado antes do estabelecimento da plantação, de como esta é manejada, o contexto da paisagem e a escala de análise (DALE *et al.*, 2010). Quando esses cultivos substituem lavouras é provável que a diversidade de pássaros aumente em escala local, enquanto que se substituírem florestas nativas ou outras comunidades vegetais de alta diversidade poderão diminuir a diversidade local (RIFFELL *et al.*, 2011).

Claramente, as plantações de cultivos florestais de curta rotação, independentemente das espécies arbóreas dominantes, provavelmente não fornecerão um hábitat comparável ao de florestas nativas maduras, por conta de suas características estruturais mais simples (VANCE *et al.*, 2014). No entanto, estas representam apenas um componente de uma paisagem e a resposta à diversidade é melhor compreendida quando são consideradas escalas espaciais e temporais múltiplas (VANCE *et al.*, 2014).

Ainda assim, existe uma gama de opções viáveis para mitigar futuros problemas relacionados à invasão. Uma estratégia pode ser a promoção do uso de espécies menos invasivas, para uma substituição ainda que parcial das espécies de maior interesse econômico (DODET; COLLET, 2012). Porém, a solução mais eficaz é uma resposta adaptiva, ao nível da paisagem, que integre várias práticas de manejo e diferentes stakeholders (LORENTZ; MINOGUE, 2015).

As principais práticas incluem o plantio das espécies exóticas em blocos monoclonais, contíguos ou misturados com espécies leguminosas nativas; a manutenção de uma *buffer zone*; uma instalação de limpeza de materiais do equipamento florestal; e o controle químico ou mecânico de mudas evadidas; e se possível, as árvores devem ser cortadas antes de começarem a florescer e antes que as cascas e os galhos caiam abundantemente e aumentem a carga de combustível do sub-bosque (LORENTZ; MINOGUE, 2015).

Além das práticas implementadas pelos produtores, o risco de invasão também pode ser minimizado por meio de parcerias e incentivos para pesquisas, como foco no potencial das modificações genéticas que visem reduzir a fertilidade e na ampliação das opções de controle químico e biológico, onde ainda existe margem para melhorias significativas (LORENTZ; MINOGUE, 2015). Além disso, melhorias nos sistemas de propagação clonal devem resultar em maior capacidade de selecionar genótipos de interesse, incluindo crescimento rápido, maior biomassa e baixa fertilidade para minimizar potencial invasivo.

1.2 USO DA ÁGUA, CONTROLE DE EROSÃO E RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

O uso da água pelas florestas de pinus e de eucalipto é um dos aspectos ambientais mais relevantes e há mais tempo discutidos na literatura científica. O rápido crescimento, uma das características mais vantajosas dessas espécies, é a que mais gera preocupações quanto ao uso desse recurso.

Isso se deve ao fato de que o aumento da biomassa é um fator que afeta diretamente a disponibilidade hídrica (CADEMUS *et al.*, 2014), podendo comprometê-la significativamente. A redução associada com as novas florestas pode variar entre 30% e 50%, que pode implicar até mesmo na neutralização dos benefícios da implantação dessas florestas, em casos de bacias hidrográficas onde exista demanda por água para irrigação (DYMOND *et al.*, 2012).

No entanto, essa redução é dependente das condições locais, variando sobremaneira no espaço (JAGGER; PENDER, 2003; CADEMUS *et al.*, 2014; VANCE *et al.*, 2014) e sujeita à

escala considerada, além de serem mais evidentes em regiões mais secas (VANCE *et al.*, 2014). Por essa razão, é importante considerar restrições climáticas naturais da disponibilidade de água em uma macroescala, pois evidências demonstram que plantações florestais nos trópicos utilizam-na de acordo com a sua disponibilidade e que a escolha das espécies ou variedades e opções de manejo são cruciais para a conservação desse recurso (FERRAZ; LIMA; RODRIGUES, 2013).

O manejo da vegetação é realmente um fator preponderante, pois tem o potencial de manter e até mesmo aumentar a disponibilidade hídrica, bem como a utilização de outros recursos naturais associados (FFOLLIOTTI; THORUD, 1977). Dentre as principais práticas, está o desbaste das densidades florestais, com seus diferentes arranjos, orientações, padrões de limpeza, intensidades e combinação de intensidades (FFOLLIOTTI; THORUD, 1977).

A proporção de floresta nativa também desempenha uma função relevante na redução e regulação do uso da água, logo, um sistema de manejo de mosaico pode ser capaz de estabilizar o fluxo de água ao longo das paisagens da plantação florestal (FERRAZ; LIMA; RODRIGUES, 2013). Assim como a integração da floresta com outras culturas pode produzir reduções na disponibilidade hídrica que sejam menos impactantes.

Rieger *et al.* (2016) demonstraram isso ao comparar as perdas de água sobre o total da precipitação pluvial em diferentes sistemas e verificarem que as perdas foram maiores no solo sem cobertura (33,8%), seguido pela plantação de eucalipto (2,9%), sucessão de soja e milho (2,4%), pastagem (1,7%), integração lavoura-floresta, intercalada com soja e milho (2,4%) e floresta nativa (0,5%). Nota-se que a plantação de eucalipto não resulta em uma perda absoluta tão significativamente superior a de sucessão de soja e milho e que a integração da floresta com a lavoura gera uma redução equiparada a da sucessão de lavouras. Mas para todos os casos, seria interessante avaliar uma perda relativa à quantidade de biomassa gerada, cujo volume representa diretamente a importância econômica de qualquer cultura que seja analisada, possibilitando uma avaliação mais ampla da sinergia entre os serviços ecossistêmicos fornecidos.

É por esse motivo que, mais recentemente, os esforços de pesquisa estão direcionados para a relação entre o uso da água e os benefícios econômicos obtidos das florestas e outros cultivos, assim como na medição e modelagem da evapotranspiração em grandes escalas de captação (DYE, 2013). Com isso, está emergindo uma visão mais clara e equilibrada da eficiência do uso da água das plantações florestais e outras espécies cultivadas, contudo ainda são necessários mais estudos (DYE, 2013). Outra frente de pesquisa essencial é identificar genótipos que limitem os impactos hidrológicos atuais e explorar opções de manejo sustentável

das plantações florestais em um futuro com mudanças climáticas potencialmente relevantes (DYE, 2013).

Um lado contraditório da eficiência do uso da água por florestas de pinus e de eucalipto é que a sua implantação pode ser uma solução eficaz no controle da erosão em áreas vulneráveis, conforme apontam diversos estudos (HUANG *et al.*, 2010; QUINN *et al.*, 2009), e nesse aspecto, seu desempenho pode ser superior a outros tipos de cobertura de solo. Rieger *et al.* (2016) comprovaram que as perdas de solo foram menores em sistemas com integração de lavoura e floresta de eucalipto, em relação a um sistema de cultivo de soja e milho. Este benefício ecológico é especialmente importante nas bacias hidrográficas onde a alta sedimentação está aumentando o risco de inundação e degradando os ecossistemas aquáticos, como é o caso de algumas regiões da Nova Zelândia (DYMOND *et al.*, 2012).

Devido a essa e outras características, os plantios florestais de pinus e eucalipto tornaram-se boas opções para a recuperação de áreas degradadas. Destaca-se o caso da das plantações de pinus no Chile, que foram responsáveis pela constituição de uma nova paisagem e o reestabelecimento de ecossistemas que estavam destruídos pelo uso agrícola excessivo (TORO; GESSEL, 1999). No Equador, a análise de opções para recuperação de uma área abandonada também apontou o reflorestamento com pinus como uma boa opção para melhorar o valor ecológico e contribuir com indicadores econômicos positivos (KNOKE *et al.*, 2014). Isso ocorre porque as espécies de *Pinus* e *Eucalyptus* estabelecem interações extensivas com micorrizas, particularmente ectomicorrizas, que podem ser altamente vantajosas para melhorar as relações de minerais e água em ambientes degradados (CHEN *et al.*, 2014).

1.3 EMISSÕES, SEQUESTRO E ESTOQUE DE CARBONO

As florestas desempenham um papel fundamental na redução da concentração de CO_2 na atmosfera, já que o carbono é um dos principais componentes que integram a estrutura da árvore, tais como a madeira, folhas, ramos, casca e raízes (PÉREZ *et al.*, 2008). Mas esse potencial pode variar de acordo com a idade da floresta, pois sabe-se que florestas mais velhas sequestram menos carbono do que as mais jovens (CADEMUS *et al.*, 2014).

Da mesma forma, a espécie da árvore e suas características são fatores que influenciam nesse processo. As espécies de *Eucalyptus* spp. são algumas das que possuem maior capacidade de fixar CO_2, devido à alta produção de biomassa por hectare e período de corte curto, de até 15 anos (PÉREZ *et al.*, 2008). A sua adaptação a solos abandonados também a torna uma opção

para aumentar o volume de carbono, tanto na biomassa arbórea, como no solo abaixo da árvore (PÉREZ *et al.*, 2008).

Diversos estudos buscaram quantificar o volume de carbono sequestrado e armazenado por espécies do gênero Pinus spp. (CADEMUS *et al.*, 2014; ÁLVAREZ; RUBIO, 2013; CHATTERJEE; MOONEY; VANCE *et al.*, 2014; THOMAS; MALCZEWSKI; SAPRUNOFF, 2007; HUANG *et al.*, 2004), mas a divergência de resultados confirma a variabilidade em função da idade das florestas, do período analisado, de condições locais específicas e de práticas de manejo.

Quando se compara diferentes opções de uso da terra, verifica-se que cultivos de alimentos têm maiores emissões de CO_2 por hectare do que os cultivos energéticos e florestais que, ao contrário, possuem emissões líquidas negativas (BRANDÃO *et al.*, 2010). Em uma avaliação entre os manejos extensivos e intensivos de *Pinus pinaster* em Portugal, foram encontrados valores de emissões de 5,6 e 21,8 kg CO_2 eq por m^3 ub (*under bark*), respectivamente, e estes valores foram inferiores aos que são relatados inclusive para outras espécies de árvores (GONZÁLEZ-GARCÍA *et al.*, 2014). As operações relacionadas à exploração madeireira, tais como o corte e o tranporte, foram identificadas como os hotspots ambientais e econômicos, principalmente devido aos requisitos de combustível fóssil (FERREIRA *et al.*, 2014; GONZÁLEZ-GARCÍA *et al.*, 2014).

Mesmo assim, apesar de um dos principais valores das florestas ser como fonte de madeira, o sequestro de carbono pode representar um importante valor adicionado. Períodos de rotação mais longos favorecem ao acúmulo de CO_2 na biomassa e no solo, entretanto, os critérios atuais de manejo visam à otimização da produção de madeira, constituindo um conflito com os interesses econômicos (ÁLVAREZ; RUBIO, 2013). Por outro lado, os produtos madeireiros continuarão armazenando carbono por um longo período de tempo (KUSH *et al.*, 2004).

1.4 IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS

Há associações claras entre perda florestal e renda nacional: entre 2000 e 2010, os países de renda alta registraram um aumento geral na área florestal, enquanto que todos os países de média e baixa renda apresentaram perdas, sendo que as mais expressivas foram nesse último grupo (FAO, 2016). Diversas análises econômicas nos estudos selecionados demonstraram que as florestas plantadas de pinus e eucalipto podem ser uma boa opção de investimento para os

produtores rurais (PIRARD *et al.*, 2017; WICKE *et al.*, 2013; CHATTERJEE *et al.*, 2010; YING *et al.,* 2010).

A rentabilidade da propriedade rural pode aumentar, no entanto, os retornos devem ser esperados no longo prazo, por conta dos custos variáveis associados à implantação da floresta e atividades silviculturais (DODD *et al.*, 2008). No caso do pinus, é possível obter uma renda adicional pela resinagem de árvores vivas por mais da metade do período de rotação; já o eucalipto, apesar de resultar em um Valor Presente Líquido inferior, possui rotações mais curtas, sendo também uma boa opção os produtores rurais (YING *et al.*, 2010).

A rentabilidade de florestas é sensível à produtividade das plantações e às variações nos custos de mão-de-obra e, especialmente, nos preços da madeira; e ainda, os manejos que visam à produção para celulose estão mais suscetíveis à mudanças nos insumos do que aqueles que tem como objetivo a produção de madeira (NISKANEN *et al.*, 1993).

Com manejo adequado e intensivo de florestas, a conversão de terras agrícolas marginais e o reflorestamento de plantações é rentável, mas muitas dessas áreas não são replantadas por conta dos altos custos (HUANG *et al.*, 2004). Como outra fonte de renda, os mercados de crédito de carbono podem influenciar significativamente o desempenho econômico dessa atividade e ser determinante para mudanças em áreas não manejadas ou precariamente manejadas (WICKE *et al.*, 2013; CHATTERJEE *et al.*, 2010). Os produtores também podem enfrentar restrições na negociação sobre preços e acesso aos mercados, uma questão relevante a ser tratada por políticas públicas futuras (MATTHIES; KARIMOV, 2014).

Além da provisão de valores ecológicos e econômicos, as florestas podem desempenhar uma função recreacional e de turismo (TURNER *et al.*, 2011; DIAZ-BALTEIRO *et al.*, 2016). Mas de uma forma mais ampla e significativa, os benefícios sociais prestados por elas referem-se à geração de empregos e renda na zona rural, fixando pessoas nessas áreas para trabalharem na silvicultura e atividades relacionadas (YING *et al.*, 2010; BUKENYA; JOHNSEN; GOMBYA-SSEMBAJJWE, 2009; TORO; GESSEL, 1999). Ocorre também o aumento do uso das florestas e de seus produtos, desde lenha a plantas medicinais e forragem para gado, para melhorar a qualidade de vida no meio rural (BUKENYA; JOHNSEN; GOMBYA-SSEMBAJJWE, 2009; PIRARD; PETIT; BARAL, 2017).

Mas o sistema social das florestas é bastante complexo. Envolve instituições locais, história, conflitos de recursos e posse, questões chave para entender a maneira como as pessoas interagem com as florestas e as dinâmicas, por vezes, contraditórias, do uso e dos valores da floresta (GOEBEL *et al.*, 2000). Enquanto Kröger (2012) critica a propriedade privada e o modelo de acumulação de capital sob o qual ocorreu a expansão das florestas de eucalipto no

Brasil. Bukenya, Johnsen e Gombya-Ssembajjwe (2009) defendem que o crescimento da agricultura florestal privada pode melhorar os meios de subsistência rurais e dessa forma, ajudar a reduzir a pressão sobre as florestas naturais.

1.5 BIOENERGIA E BIOPRODUTOS

Estudos sobre a aplicação material de produtos originados de florestas de pinus exploraram desde um uso mais convencional, ao comparar os impactos de diferentes materiais para a construção de cascos de barcos (POMMIER *et al.*, 2016), até a viabilidade técnica e econômica de se produzir ácido levulínico a partir da biomassa (VICTOR; PULIDIND; GEDANKEN, 2014) e compostos de polietilenos de alta densidade a partir de resíduos florestais reciclados (GRISON *et al.*, 2016). Além da viabilidade técnica, essas opções de utilização promovem a redução dos impactos ambientais associados ao produto final, quando comparado ao produto substituto ou como convencionalmente é produzido (GRISON *et al.*, 2016; VICTOR; PULIDIND; GEDANKEN, 2014).

No entanto, inúmeros estudos tem como foco o uso energético das florestas e de seus produtos, nos quais a redução dos impactos ambientais também foi evidenciada. No Reino Unido, a utilização de pellets de pinus para a produção de eletricidade poderia reduzir em torno de 70% das emissões de gases do efeito estufa, em relação ao carvão como fonte energética (DWIVEDI *et al.*, 2016).

O custo unitário de produção dos pellets é superior ao do carvão, mas há o potencial de ser reduzido por meio das políticas de incentivo ao uso de energias renováveis vigentes (DWIVEDI *et al.*, 2016). Igualmente, a produção de etileno baseada em biomassa apresenta menor emergia específica de produtos, carga ambiental moderada, maior percentual de renovabilidade (cerca de 20%), mas rendimento de emergia e índices de investimento inferiores (SHA *et al.*, 2015).

Logo, observa-se que existem importantes desafios técnicos e econômicos que precisam ser superados para viabilizar a utilização desses recursos biológicos como fontes de materais ou de energia, pois na maioria das vezes, seus concorrentes são produtos de origem fóssil. Como é o caso da produção de bio-óleo, cujo desempenho da biomassa de pinus é superior, mas está atrelado a um preço de venda igualmente superior ao de combustíveis derivados do petróleo (WINJOBI *et al.*, 2016). A utilização do combustível proveniente da biomassa melhoraria substancialmente a qualidade do ar local, mas o custo de produção de metanol e hidrogênio a

partir da madeira é até quatro vezes maior do que o da gasolina ou do metanol produzido do petróleo bruto e gás natural (OHLSTRÖM *et al.*, 2001).

Da mesma forma, essa relação ocorre para os pellets torrificados. Uma análise demonstrou que a produção de bioenergia em larga escala pode tornar-se competitiva frente aos combustíveis fósseis, mas que os custos mais altos demandam investimentos em tecnologias que resultem em melhorias significativas de desempenho para o futuro do setor (BATIDZIRAI *et al.*, 2014).

A produção de bioetanol a partir de biomassa foi o produto florestal mais estudado dentre os artigos selecionados. Um desafio metodológico foi apontado em uma comparação dos impactos ambientais de diferentes fontes de biomassa, demonstrando que, sem o aporte de um método de tomada de decisão multicritério, é difícil identificar cenários de biocombustíveis com os menores impactos ambientais globais (DAYSTAR *et al.*, 2015). Mas Reeb *et al.* (2016) integraram um desses métodos para avaliar diferentes fontes de biomassa e verificaram que o eucalipto foi uma das melhores alternativas sob o aspecto ambiental e a de menor custo para a produção de biocombustíveis.

Há também uma preocupação expressiva por parte dos pesquisadores em analisar o uso de resíduos florestais para a produção de energia (MONCADA *et al.*, 2016; GARCÍA; BETANCOURT; CARDONA, 2016). Na Espanha, o uso desse recurso, proveniente de florestas de pinus e eucalipto, significaria um rendimento anual aproximado de 8 milhões de euros e a fixação de 78% do CO_2 emitido anualmente pelas indústrias da Cantábria (PÉREZ *et al.*, 2008). Este potencial se reflete no plano da União Europeia em ter 20% da sua eletricidade gerada por recursos renováveis, considerando a madeira como um combustível carbono-neutro (CORNWALL, 2017).

1.6 SÍNTESE

Ao observar as diferentes contribuições dos artigos citados nesta revisão, percebe-se que a discussão sobre os possíveis impactos ambientais, econômicos e sociais das florestas plantadas de pinus e eucalipto estão longe de um consenso. Pelo contrário, existem muitas divergências sobre vários aspectos, que não podem ser considerados isoladamente, tornando este tema ainda mais desafiador, mesmo após décadas de estudos acerca dele. Para auxiliar na compreensão da magnitude deste debate, foram sintetizados os principais tipos de impactos expostos anteriormente, assim como argumentos e os contrapontos utilizados pelos autores ao os apresentarem e ao fazerem alguma consideração quanto a sua validade (Quadro 1).

As divergências são mais evidentes nos aspectos ambientais, devido à dependência de métodos experimentais, fortemente influenciados por condições locais específicas, parâmetros de comparação e escalas de análise variáveis. Também é necessário questionar quais desses impactos são diretos ou inevitáveis e quais são indiretos ou possíveis. Frequentemente, as críticas à expansão de florestas plantadas produtivas têm como base a suposição de que essa seria baseada na substituição de vegetação nativa preservada ou de áreas cultivadas produtivas, ignorando outras possibilidades, como áreas degradadas, marginais ou improdutivas.

Na maioria dos casos, nota-se o manejo como ferramenta essencial para a mitigação de diferentes tipos de impactos. Este também pode ser um atenuante ou maximizador de *trade-offs* entre aspectos ambientais e econômicos, principalmente quando se trata da relação entre taxas de sequestro de carbono e o período de rotação. No entanto, ressalta-se que é possível obter sinergia em níveis intermediários de provisão de serviços ecossistêmicos, como a disponibilidade hídrica, volume de madeira e sequestro de carbono, desde que práticas adequadas de manejo sejam adotadas (CADEMUS *et al.*, 2014). Especificamente nessa situação, políticas de incentivo ao mercado de crédito de carbono podem ser decisivas para o comportamento dos gestores e, como consequência, para o equilíbrio entre estes elementos.

Algumas práticas que podem contribuir substancialmente para a ampliação desta sinergia, ou em outras palavras, da sustentabilidade do manejo, incluem a escolha por locais, espécies e material genético mais apropriados (VANCE *et al.*, 2014), os sistemas agroflorestais (PINTO *et al.*, 2005) e a integração da floresta com lavoura e/ou pecuária (FERRAZ; LIMA; RODRIGUES, 2013; STEWART *et al.*, 2011). Quanto a esta última, além de diversificar a renda dos produtores, a integração com outras atividades também pode amenizar o efeito do longo prazo para o retorno dos investimentos aplicados na silvicultura.

O atendimento da demanda futura por produtos florestais depende da expansão da área de florestas plantadas, mas isto precisa ser assegurado por meio de políticas públicas que beneficiem esta atividade de forma isolada ou em sistemas de produção integrados, assim como o mercado de créditos de carbono. E que também garantam os direitos de propriedade da terra e promovam investimentos privados que melhorem as condições de subsistência no campo.

Quadro 1 – Argumentos e contrapontos apresentados na literatura científica sobre os tipos de impactos atribuídos às florestas plantadas de pinus e eucalipto e seus produtos. (continua)

AMBIENTAL					
Impacto	**Argumento**		**Referências**	**Contraponto**	**Referências**
Espécies exóticas	**(-)**	Competição com a vegetação nativa	Dodet and Collet (2012)		
	(+)	Adaptabilidade das espécies a diferentes habitats	Kush *et al.* (2004)		
Potencial invasivo	**(-)**	Invasão de ecossistemas	Dodet and Collet (2012)	Há incertezas quanto ao risco de invasão e sobre a velocidade de dispersão. Avaliar em que condições os habitats são invadidos. Considerar que, em muitos casos, a introdução das espécies invasoras são voluntárias, a partir de plantações comerciais. Influência do manejo: controle químico, biológico e mecânico, *buffer zone*, plantações mistas e investimentos em P&D para reduzir fertilidade e ampliar formas de controle.	Dodet and Collet (2012); Ferraz *et al.* (2013); Lorentz and Minogue (2015); Van Wilgen and Richardson (2012); Vance *et al.* (2014).
	(+)	Características vantajosas das espécies (adaptabilidade, taxa de mortalidade baixa, rápido crescimento, resistência a pragas e doenças)	Dodet and Collet (2012); Kush *et al.* (2004).		
Uso da água	**(-)**	Rápido crescimento do volume de biomassa reduz a disponibilidade hídrica para irrigação ou comunidade local.	Cademus *et al.* (2014); Dymond *et al.* (2012).	A redução é variável, dependente de características locais, como restrições climáticas naturais da disponibilidade de água na região (seca ou chuvosa) e da escala de análise. Comparando com outras culturas, a redução provocada pelo eucalipto não é tão significativamente superior, podendo ser reduzida por sistemas de integração. Além disso, a perda de água da floresta é significativamente inferior a de um solo sem cobertura.	Cademus *et al.* (2014); Dye (2013); Ferraz *et al.* (2013); Ffolliotti and Thorud (1977); Jagger and Pender (2003); Rieger *et al.* (2016); Vance *et al.* (2014).
Controle de erosão	**(+)**	As florestas plantadas de pinus e eucalipto são eficientes na redução de perdas de solo.	Dymond *et al.* (2012); Huang *et al.* (2010); Quinn *et al.* (2009); Rieger *et al.* (2016).		
Sequestro e estoque de carbono	**(+)**	O crescimento rápido e a alta capacidade de gerar biomassa por hectare contribuem para um sequestro de CO_2 atmosférico significativo em relação a outras espécies. Os produtos florestais são capazes de estocar carbono por longos períodos.	Pérez *et al.* (2008)	A espécie e o manejo utilizados podem interferir negativamente na capacidade de sequestro e estoque de carbono, principalmente por conta de períodos de rotação muito curtos. A variabiliade das quantificações do sequestro de carbono deve-se, além da idade das florestas e das práticas de manejo, ao período analisado e às condições locais específicas.	Álvarez and Rubio (2013); Cademus *et al.* (2014); Chatterjee *et al.* (2010); Huang *et al.* (2004); Pérez *et al.* (2008); Thomas *et al.* (2007).
Emissões da silvicultura	**(+)**	As emissões calculadas para florestas plantadas de pinus e eucalipto foram inferiores a de outras espécies e cultivos alimentares e energéticos.	Brandão *et al.* (2010); González-García *et al.* (2014).	As atividades silviculturais relacionadas ao uso de maquinários e transporte são os *hotspots* das emissões. Mas existem possibilidades de redução das emissões por manejos mais adequados, como períodos de rotação mais longos.	Álvarez and Rubio (2013); Ferreira *et al.* (2014); González-García *et al.*, (2014).

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 1 – Argumentos e contrapontos apresentados na literatura científica sobre os tipos de impactos atribuídos às florestas plantadas de pinus e eucalipto e seus produtos. (continuação)

AMBIENTAL					
Impacto	**Argumento**		**Referências**	**Contraponto**	**Referências**
Recuperação de áreas degradadas	**(+)**	A adaptabilidade de espécies florestais, como o pinus, favorecem o seu uso na recuperação de áreas degradadas pelo uso agrícola intensivo, restabelecendo ecossistemas e a biodiversidade.	Knoke *et al.* (2014); Pérez *et al.* (2008); Toro and Gessel (1999).		
Biodiversidade	**(-)**	As florestas plantadas podem reduzir a biodiversidade.	Vance *et al.* (2014)	Deve-se analisar o tipo de ecossistema existente antes do estabelecimento da plantação de espécies florestais (mata nativa, lavoura, área degradada), a forma como a floresta é manejada, o contexto da paisagem e a escala de análise.	Dale *et al.* (2010); Riffell *et al.* (2011); Vance *et al.* (2014).
	(+)	As florestas plantadas podem aumentar a biodiversidade.	Knoke *et al.* (2014); Toro and Gessel (1999).		
ECONÔMICO					
Impacto	**Argumento**		**Referências**	**Contra-ponto**	**Referências**
Produtos bio-based a partir de biomassa e resíduos florestais	**(+)**	Produtos florestais para fins energéticos ou materiais proporcionam a redução dos impactos ambientais, comparativamente aos produtos convencionais. Além disso, produtos madeireiros continuarão armazenando carbono por um longo período de tempo.	Batidzirai (2014); Cornwall (2017); Dwivedi *et al.* (2016); Grison *et al.* (2016); Kush *et al.* (2004); Ohlström (2001); Pérez *et al.* (2008); Sha *et al.* (2015); Victor *et al.* (2014); Winjobi *et al.* (2016).	Há a necessidade de avanços em termos de tecnologias para tornar estes produtos mais viáveis técnica e economicamente, principalmente em termos de custos, preços de venda e rentabilidade em comparação aos concorrentes. Essas condições podem ser significativamente alteradas pela implementação de políticas públicas que visem a economia de baixo carbono.	Batidzirai *et al.* (2014); Dwivedi *et al.* (2016); Ohlström *et al.* (2001); Sha *et al.* (2015); Winjobi *et al.* (2016).
SOCIAL					
Impacto	**Argumento**		**Referências**	**Contra-ponto**	**Referências**
Renda e qualidade de vida dos produtores rurais	**(+)**	O investimento em florestas plantadas de pinus e eucalipto é uma boa opção para geração de renda para os produtores rurais. O uso das florestas e de seus produtos também contribui para melhorar a qualidade de vida no meio rural.	Dodd *et al.* (2008); Huang *et al.*, 2004; Ying *et al.* (2010).	Em geral, os retornos financeiros são de longo prazo e dependentes da produtividade das plantações, variações nos custos de insumos, mão-de-obra e preços da madeira e acesso a mercados. O mercado de crédito de carbono pode alterar significativamente o desempenho econômico dessa atividade e ser determinante para mudanças em áreas não manejadas ou precariamente manejadas.	Bukenya *et al.* (2009); Chatterjee *et al.* (2010); Dodd *et al.* (2008); Matthies and Karimov (2014); Niskanen (1993); Pirard *et al.* (2017); Wicke *et al.* (2013).
Comunidade local	**(-)**	A expansão das florestas plantadas com fins comerciais ocasionou conflitos por recursos e posse.	Goebel *et al.* (2000); Kröger (2012).		
	(+)	A expansão das florestas plantadas com fins comerciais contribuiu para a geração de meios de subsistência no meio rural, na forma de empregos e renda, reduzindo a pressão sobre as florestas naturais. Além disso, florestas de propriedade pública ou privada podem ainda desempenhar uma função recreacional e de turismo.	Bukenya *et al.* (2009); Diaz-Balteiro *et al.* (2016); Pirard *et al.* (2017); Toro and Gessel (1999); Turner *et al.* (2011); Ying *et al.* (2010).		

Fonte: Elaborado pela autora.

2 CONTRIBUIÇÕES DA ECOLOGIA INDUSTRIAL PARA UM AGRONEGÓCIO MAIS SUSTENTÁVEL

Um dos principais desafios do agronegócio no século XXI será satisfazer a crescente demanda por alimentos, materiais e energia, conservando os serviços ecossistêmicos elementares dos quais tanto dependem a economia e o bem-estar humano (JOHNSON *et al.*, 2014). Para superá-lo, é imprescindível encontrar caminhos mais sustentáveis para a intensificação, que aumentem a produção do agronegócio com menor uso de recursos (GARNETT *et al.*, 2013) e geração de resíduos. E ainda, é urgente ampliar as soluções a partir de recursos biológicos renováveis que sejam capazes de substituir o uso convencional de recursos fósseis (SARAIVA, 2016).

Questões como estas demandam abordagens interdisciplinares que sejam capazes de lidar com a sua complexidade. Nesse sentido, a Ecologia Industrial é um campo de estudos recente que busca harmonizar a relação entre as atividades humanas e o uso de recursos naturais (ALLENBY, 2006), ao identificar gargalos e propor soluções (CHERTOW; PARK, 2016). Embora Fernandez-Mena *et al.* (2016) tenham realizado uma revisão sobre os métodos que analisam e modelam os fluxos de nutrientes, é oportuno que se apresente uma visão mais abrangente, que considere outras perspectivas complementares e igualmente importantes. Para tanto, são apresentadas nesta seção a evolução do conceito de Ecologia Industrial e as diferentes abordagens identificadas na literatura científica internacional a respeito da aplicação dos seus princípios no agronegócio.

2.1 O CAMPO DE ESTUDOS DA ECOLOGIA INDUSTRIAL

A Ecologia Industrial surgiu na década de 1970, a partir da percepção de alguns ecologistas de que o sistema industrial é um subsistema da biosfera, que demanda recursos e serviços desta e, portanto, devem ser analisados conjuntamente (GIANNETII; ALMEIDA, 2006). O primeiro uso do termo foi no artigo seminal *Strategies for Manufacturing* de Frosch e Gallopoulos (1989). De acordo com os autores, o modelo tradicional da atividade industrial deveria se transformar em um modelo mais integrado, um "ecossistema industrial", onde o consumo de energia e materiais é otimizado, a geração de desperdícios é minimizada e os resíduos de um processo servem como matéria-prima para outro (CHERTOW; PARK, 2016).

Durante a década seguinte, o campo de estudo foi inicialmente desenvolvido por pesquisadores da indústria que viam a oportunidade de melhorar o desempenho organizacional relacionado ao meio ambiente e sustentabilidade (GRAEDEL; LIFSET, 2016). Nesse mesmo período, tornou-se largamente reconhecida como uma especialidade acadêmica, com suas próprias revistas e conferências (GRAEDEL; LIFSET, 2016).

A Sociedade Internacional de Ecologia Industrial adota a definição cunhada por White (1994) que, inspirado nas ideias de Frosch e Gallopoulos (1989), introduziu o papel do consumidor e ressaltou a importância de uma abrangência socioeconômica mais ampla. Essa definição considera como sendo o estudo dos fluxos de materiais e energia nas atividades industriais e de consumo, do efeito desses no ambiente e a influência de fatores econômicos, políticos, regulatórios e sociais nesses fluxos, uso e transformação de recursos (WHITE, 1994).

Uma definição mais recente a conceitua como um discurso multidisciplinar baseado em sistema que tem por objetivo compreender o comportamento emergente da complexa integração entre os sistemas natural e humano (ALLENBY, 2006). Essa perspectiva aborda os sistemas de forma mais ampla, envolvendo várias disciplinas, além dos campos técnico, econômico e ambiental, inserindo a sociologia e a filosofia, especialmente e filosofia ética (CHERTOW; PARK, 2016).

É evidenciada uma analogia entre os sistemas industriais e os ecossistemas naturais a partir da qual é sugerido entender e aplicar o que pode ser aprendido dos sistemas naturais para nos auxiliar a desenhar sistemas industriais mais sustentáveis (EHRENFELD; GERTLER, 1997; GRAEDEL, ALLENBY, 1995). Para tanto, é essencial o estudo dos fluxos de material e energia das transformações destes fluxos em produtos, subprodutos e resíduos gerados durante sua passagem pelo subsistema industrial (GIANNETII; ALMEIDA, 2006); ou seja, é necessário conhecer o metabolismo de cada unidade para entender o sistema (AYRES; SIMONIS, 1994).

Os fluxos são acompanhados desde a sua fonte inicial, atravessando o sistema industrial, sua utilização pelos consumidores, até seu descarte final, apontando como as reservas são utilizadas em cada etapa do sistema e assim, levando a identificação de pontos onde uma ação imediata é possível ou necessária (GIANNETII; ALMEIDA, 2006). O *Journal of Industrial Ecology* (2017) ressalta esse aspecto fundamental da Ecologia Industrial descrevendo-a como:

> ...um campo que cresce rapidamente e que examina sistematicamente, nos níveis locais, regionais e globais, o uso e os fluxos de materiais e energia em produtos, processos, setores industriais e economias. Focaliza-se no papel potencial da indústria em reduzir os danos ambientais, durante o ciclo de vida do produto, desde a extração da matéria-prima até seu descarte final.

Em estudos aplicados no setor do agronegócio, pode-se afirmar que os objetivos têm como foco três objetivos principais: identificar problemas ambientais nos processos produtivos e nos produtos resultantes destes, buscar soluções para amenizar o efeito negativo desses processos e produtos para o meio ambiente e propor a adoção de estratégias que favoreçam a adoção dessas soluções ao longo da cadeia produtiva.

As contribuições das abordagens mais relevantes que foram identificadas na literatura, assim como os objetos de estudos e as metodologias mais frequentemente utilizadas estão sintetizados no Quadro 2. Nos tópicos a seguir, estas abordagens são discutidas mais detalhadamente.

2.2 ANÁLISE DO FLUXO DE MATERIAIS E SUBSTÂNCIAS

As atividades humanas afetam significativamente os fluxos de substâncias na natureza, descartando inconscientemente grandes quantidades de recursos valiosos (MA *et al.*, 2013). Um exemplo é o fósforo, que se acumula na água e nos resíduos sólidos devido ao consumo animal, agrícola e industrial (VILLALBA *et al.*, 2008).

O fósforo (P) é um nutriente agrícola importante e, na sua forma explorável, um recurso potencialmente escasso (KEIL *et al.*, 2017). Devido à natureza finita das reservas minerais de fósforo, uma gestão efetiva dos seus fluxos está cada vez mais no foco das pesquisas da comunidade internacional (KALMYKOVA *et al.*, 2012). Outro aspecto importante é o impacto ambiental associado aos resíduos excessivos de fósforo que contribuem para a eutrofização das águas da superfície (BI *et al.*, 2013).

Analisando os fluxos e estoques de nutrientes é possível gerenciá-los de forma efetiva para lidar com a sua escassez e os possíveis impactos ambientais ocasionados (KEIL *et al.*, 2017; YUAN *et al.*, 2011). A partir disso, é possível propor melhorias na eficiência do uso de nitrogênio em sistemas de produção animal, por exemplo, por meio do melhoramento genético do rebanho, modificações na composição da alimentação e pela integração com sistemas agrícolas (OENEMA; TAMMINGA, 2005).

Quadro 2 – Principais abordagens aplicadas em estudos sobre Ecologia Industrial no agronegócio. (continua)

Abordagem	Objetos de estudo	Metodologias	Principais contribuições e implicações
Análise de fluxo de materiais e substâncias	Fluxos e reciclagem de fósforo (P) e nitrogênio (N), metabolismo urbano (relação urbano-rural), consumo de alimentos, uso de água, indústria agroalimentar.	Material Flow Analysis (MFA), Substance Flow Analysis (SFA), Human Appropriation Of Net Primary Production (HANPP), Life Cycle Assessment (LCA), Social Accounting Matrix (SAM), Input-Output Analysis, Emergy Analysis.	Há oportunidades de melhorias na eficiência do uso de nutrientes e de reciclagem de nutrientes na agricultura. Para reduzir o uso de recursos, é necessária uma intensificação sustentável da agricultura e políticas de reciclagem e redução de desperdício de alimentos nas cidades. De modo geral, os países mais ricos devem reduzir o uso de recursos, especialmente aqueles de que dependem de outros países de renda inferior.
Avaliação de impactos	Silvicultura, fluxo de carbono, escolhas dietéticas, desperdício de alimentos, produção e/ou consumo de alimentos (iogurte, trigo, tilápia, tomates de estufa), produção de bioetanol (cana-de-açúcar) e biodiesel (colza), agricultura urbana, indústria agroalimentar, pecuária leiteira, bio-sólidos, metabolismo urbano.	Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Costing (LCC), Consequential Life Cycle Assessment (C-LCA), input-output analysis, material and energy flow accounting (MEFA), revisão de literatura, meta-análise, Life Cycle Energy Analysis, Energy Return on Investment (EROI), Substance / Material Flow Analysis, survey.	Há oportunidades de melhorias de aspectos ambientais e econômicos em todos os elos das cadeias de suprimento agroindustriais, que devem ser objeto de atenção dos tomadores de decisão.
Simbiose industrial	Setor agroalimentar, clusters agroalimentares, indústria de alimentos, pecuária leiteira, estufas, pecuária de corte, pequenas propriedades agrícolas, biorefinaria de algas, cinzas de carvão.	Material flow analysis (MFA), Life Cycle Assessment (LCA), meta-análise, estudo de caso, survey, revisão de literatura, experimento, balanço hídrico.	Nas propriedades rurais, há várias possibilidades de aproveitamento de resíduos animais e vegetais para a recuperação de nutrientes, redução do uso de fertilizantes, e o uso para fins energéticos. Incentivos políticos e regulatórios e colaborações interorganizacionais podem apoiar o avanço em soluções para o aproveitamento de resíduos do setor agroindustrial.

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 2 – Principais abordagens aplicadas em estudos sobre Ecologia Industrial no agronegócio.
(continuação)

Abordagem	Objetos de estudo	Metodologias	Principais contribuições e implicações
Bioprodutos e bioenergia	Bioetanol, biodiesel, bio-compostos, Organismos Geneticamente Modificados (OGM).	Energy balance, revisão de literatura, estudo de caso.	São necessários avanços tecnológicos para tornar os produtos *bio-based* mais competitivos em relação aos produtos convencionais. Também são necessárias pesquisas de longo prazo para comprovar os benefícios dos produtos *bio-based* e regulamentações que possibilitem a exploração econômica desses produtos.
Gestão ambiental na cadeia produtiva	Cadeias agroalimentares, parques agroindustriais, sistemas alimentares, cadeia de tomates de estufa.	Análise de conteúdo, revisão de literatura, estudo de caso, desenvolvimento de um framework analítico, Life Cycle Attribute Assessment (LCAA)	Colaborações interorganizacionais nas cadeias de suprimentos, preferencialmente estabelecidas de forma descentralizada, formalizada e auto-organizada, podem promover melhorias de desempenho das organicações com relação a sustentabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora.

A gestão de nutrientes é uma questão importante a ser lidada a partir de ações locais, mas uma perspectiva mais abrangente vem se destacando. Com o processo de globalização, produtos como, alimentos, fibras e bioenergia são cada vez mais comercializados de forma global, conectando regiões que aparentemente não parecem estar relacionadas (KASTNER; ERB; HABERL, 2015). Por exemplo, restrições na produção agrícola ou mudanças na demanda por bioenergia na Europa ou Estados Unidos podem contribuir para o desmatamento na América Latina ou África Subsaariana (KASTNER; ERB; HABERL, 2015).

É por essa razão que vários pesquisadores buscaram ampliar a análise do uso de recursos por uma determinada região, integrando também os fluxos virtuais de recursos, ou seja, aqueles incorporados nas transações comerciais. Particulamente, alguns estudos enfatizaram o uso de água embutido nos alimentos transacionados na Europa (CAZCARRO; PAC; SÁNCHEZ-CHÓLIZ, 2010; NÚÑEZ *et al.*, 2013; SERRANO et al., 2016) e na China (HUANG *et al.*, 2004; ZHANG *et al.*, 2016).

Com base nessa visão, conclui-se que os países de alta renda requerem mais terra biologicamente produtiva *per capita* do que os de baixa renda (WEINZETTEL *et al.*, 2013). Europa e Japão são as regiões que mais exercem pressão em ecossistemas de países de baixa renda (WEINZETTEL *et al.*, 2013), sendo que há uma crescente dependência da Europa pela América Latina como sua principal fornecedora (KASTNER; ERB; HABERL, 2015).

Essa dependência de terras agrícolas estrangeiras para atender o consumo interno também representa um problema para a China. O país pode enfrentar sérios desafios para cumprir sua política de autossuficiência de grãos no futuro e, ao mesmo tempo, pode contribuir para gerar problemas ambientais e de segurança alimentar em outros lugares (YU *et al.*, 2016). Um fenômeno resultante desta pressão é o comércio internacional de terras, ou seja, a compra de terras em países estrangeiros, também conhecido como offshore farming, deslocalização agrícola ou terceirização de terras além-mar (GIANEZINI *et al*., 2013).

Para reverter esta tendência de aumento da demanda de recursos por países ricos e dos consequentes impactos ambientais, as soluções vão desde a intensificação sustentável da produção no campo (FOLEY *et al.*, 2011) até a reciclagem de nutrientes e a redução do desperdício de alimentos nas cidades (GOLDSTEIN *et al.*, 2016).

2.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS

Embora alguns estudos tenham sido dedicados aos biocombustíveis (WARSHAY; BROWN; SGOURIDIS, 2016; WATANABE *et al.*, 2016; IRIARTE; RIERADEVALL; GABARRELL, 2012), o maior foco desta abordagem no agronegócio é a mensuração de impactos ambientais e econômicos da produção de alimentos (ACHTEN; VAN ACKER, 2016; CHOBTANG *et al.*, 2016; ALMEIDA *et al.*, 2014; PELLETIER; TYEDMERS, 2010; DEWICK; FOSTER; GREEN, 2007). Na fase agrícola da produção de alimentos, há diversas estratégias que podem ser implementadas para reduzir os impactos ambientais (ALMEIDA *et al.*, 2014; CHOBTANG *et al.*, 2016; PELLETIER; TYEDMERS, 2010). No entanto, os tomadores de decisão devem centrar-se em todas as fases do sistema de produção e consumo para melhorar a eficiência do uso dos recursos e reduzir o desperdício (DEWICK; FOSTER; GREEN, 2007).

Além disso, as recomendações de dietas pelos órgãos governamentais merecem atenção, uma vez que as escolhas alimentares podem influenciar nos impactos ambientais tanto quanto a quantidade de alimentos que é consumida. Estima-se que, nos Estados Unidos, a atual dieta padrão e o desperdício de alimentos são responsáveis por 1,4 quilogramas (kg) de dióxido de carbono equivalente (CO_2 eq) *per capita* ao dia (HELLER; KEOLEIAN, 2014). Há uma percepção de que uma mudança no padrão alimentar dos americanos para as recomendações da USDA (*United States Department of Agriculture*), mantendo o mesmo consumo de calorias, poderia resultar em um aumento de 12% nas emissões de gases do efeito estufa relacionadas à dieta, enquanto que uma mudança com diminuição da ingestão calórica, resultaria em uma redução de apenas 1% (HELLER; KEOLEIAN, 2014).

Outra prática retratada em estudos mais recentes é a agricultura urbana, nos quais seus são impactos mensurados comparativamente aos da agricultura convencional e de outras formas de produção. Um estudo concluiu que estufas em terraços geram impacto ambiental e custos superiores aos das estufas tradicionais de multi-túnel, porém o potencial de aumentar a produtividade e o fato de estarem mais próximas do consumidor podem atenuar essas questões (SANYÉ-MENGUALL *et al.*, 2015).

Vários benefícios são relacionados à agricultura urbana. Os mais comprovados são a diminuição da emissão de gases de efeito estufa da produção dos alimentos, redução da ilha de calor urbana e a receptação das águas pluviais (GOLDSTEIN *et al.*, 2016). Outros benefícios para a cadeia de suprimentos e os ecossistemas urbanos dependem das

condições de espaço para crescimento desta atividade e o nível de integração com as construções, para aproveitamento mútuo de recursos, como energia, água e fluxos de CO_2 (CERÓN-PALMA *et al.*, 2012; GOLDSTEIN *et al.*, 2016).

2.4 SIMBIOSE INDUSTRIAL E FONTES DE PRODUTOS E ENERGIA *BIO-BASED*

Ao mesmo tempo em que os recentes avanços tecnológicos proporcionaram a industrialização das cadeias agroalimentares, também ocasionaram o agravamento de problemas ambientais (SIMBOLI; TADDEO; MORGANTE, 2015), dentre eles, os provocados pela geração de resíduos. As soluções propostas pela simbiose industrial estão focadas na troca de energia e materiais entre os processos industriais, num esforço para aumentar o valor e reduzir o impacto ambiental destes (ALFARO; MILLER, 2014).

As principais aplicações da simbiose industrial verificadas nos sistemas agrícolas envolvem a valorização de subprodutos animais para o reaproveitamento de nutrientes. Alguns estudos apresentam exemplos de como a integração entre pecuária leiteira e estufas (ZHANG; BI; CLIFT, 2015) e entre a pecuária e a produção florestal comercial (COWLING; FURINESS, 2005) podem se beneficiarem mutuamente. Os resultados diretos desse tipo de simbiose abrangem desde a conservação de recursos e redução dos impactos ambientais associados a sua deposição final até o aumento da produtividade, refletindo de modo positivo nos indicadores econômicos das propriedades (ALFARO; MILLER, 2014; COWLING; FURINESS, 2005; ZHANG; BI; CLIFT, 2015).

Outros exemplos tratam da geração de energia a partir de dejetos animais (ZHANG; BI; CLIFT, 2015) e de água residuais de áreas agrícolas (WHITING; CARMONA, 2016), aproveitamento das cinzas de carvão para melhoramento do solo para a agricultura (BLISSETT; ROWSON, 2012) e a utilização dos resíduos de indústrias de alimentos por biorefinarias (MIRABELLA; CASTELLANI; SALA, 2014). Obviamente que, em alguns casos, é imprescindível o uso de tecnologias apropriadas e capacidade operacional para viabilizar a reutilização de subprodutos (CHEN; MA, 2015). No entanto, iniciativas políticas e regulatórias (SUBHADRA; GRINSON-GEORGE, 2011) bem como estratégias colaborativas entre os setores agroalimentar e industrial (SIMBOLI *et al.*, 2015) podem ampliar as soluções para os resíduos dos processos produtivos.

A busca por fontes de recursos renováveis como alternativas ao petróleo e seus derivados também é um dos princípios da Ecologia Industrial, que guia a criação de

materiais, produtos e processos baseados em recursos biológicos que possam competir no mercado (MOHANTY; MISRA; DRZAL, 2002; SWANSTON; NEWTON, 2005). Dentre algumas alternativas proporcionadas pelo agronegócio, destacam-se o desenvolvimento de bioetanol de trigo (SWANSTON; NEWTON, 2005), o uso de resíduos de pequenas propriedades rurais para a fabricação de biodiesel (KOVÁCS, 2012), a produção de biocompostos (BHARATH; BASAVARAJAPPA, 2016; MOHANTY; MISRA; DRZAL, 2002) e a engenharia genética para o aumento da eficiência na agricultura (KERN, 2002; MORRISSEY *et al.*, 2002).

Ainda que com grande potencial de desenvolvimento, também há alguns desafios que permeiam o sucesso dos bioprodutos. Apesar de representarem conquistas importantes com relação a redução de impactos no meio ambiente, são necessários avanços tecnológicos para permitir maior concorrência com produtos de fontes não-renováveis (BHARATH; BASAVARAJAPPA, 2016). Em alguns casos, são importantes também pesquisas que comprovem seus efeitos no longo prazo e que possibilitem marcos regulatórios para a sua ampla exploração econômica (MORRISSEY *et al.*, 2002).

2.5 GESTÃO AMBIENTAL NA CADEIA PRODUTIVA

Considerando as amplas possibilidades que a aplicação das diretrizes da Ecologia Industrial pode oferecer para tornar processos e produtos mais sustentáveis, é importante questionar como estas podem ser colocadas em prática pelas organizações. Em busca dessa resposta, alguns estudos procuraram identificar os fatores que levam as organizações a adotarem uma postura mais sustentável e como elas organizam-se em suas cadeias de suprimento para esse fim.

O fato é que vários atributos de desempenho da cadeia de suprimentos representam, na verdade, atributos de credibilidade que não podem ser verificados pelo consumidor, implicando assim uma assimetria de informação entre a organização e seus consumidores (GOLD; KUNZ; REINER, 2016). Em muitos casos, as ações por parte das organizações são simbólicas ou restritas a esforços de comunicação, por meio de relatórios de sustentabilidade e outras ferramentas de marketing, que podem estar desvinculados de operações efetivas de melhorias na cadeia de suprimentos (GOLD; KUNZ; REINER, 2016).

Ao tentarem colocar em prática o conceito de *agroparks*, Ge *et al.* (2011) concluíram que a gestão eficaz da cadeia de suprimentos visando melhorar a eficiência

quanto à sustentabilidade depende da escolha de arranjos institucionais apropriados que criem altos incentivos para cooperar e que proporcionem baixo custo institucional. A descentralização e relações baseadas em laços formais são cruciais para atingir esse propósito (NUHOFF-ISAKHANYAN *et al.*, 2017) Outro ponto interessante é que quando o parque agroindustrial é auto organizado geralmente tem mais chances de sucesso em relação aos que são planejados (NUHOFF-ISAKHANYAN *et al.*, 2017).

Como resultado, as organizações localizadas em parques agroindustriais percebem um melhor desempenho com relação à sustentabilidade (NUHOFF-ISAKHANYAN *et al.*, 2017). Portanto, gestores e acadêmicos devem buscar desenvolver estratégias inter e intraorganizacionais que favorecem a colaboração e consequentemente, o desempenho da cadeia como um todo (GOLD *et al.*, 2016).

2.6 SÍNTESE

A maior proporção de estudos identificados na literatura sobre a Ecologia Industrial no agronegócio visa analisar o uso de recursos e os impactos associados ao mesmo, o que possibilita indicar os gargalos para a adaptação e melhoria dos sistemas produtivos. Estes estudos geralmente possuem um escopo amplo, em nível de país e com especial atenção ao uso e fluxo de recursos decorrentes de transações comerciais internacionais.

Um segundo grupo mais expressivo em número de publicações dedica-se a encontrar fontes renováveis alternativas e reduzir os impactos ambientais das atividades do agronegócio, pela redução do uso de recursos ou de geração de resíduos. Por fim, alguns estudos preocupam-se em como implementar essas soluções no nível interorganizacional, procurando identificar as melhores configurações para organizar essas relações e atingir melhorias de desempenho em termos da sustentabilidade da cadeia como um todo.

Conclui-se então que os fundamentos mais importantes da Ecologia Industrial estão sendo abordados de diferentes formas no agronegócio. Especificamente sobre o setor florestal, nota-se que há a preocupação em avaliar impactos ambientais das atividades silviculturais com o objetivo de identificar pontos de melhoria, investigar sobre alternativas para o aproveitamento de resíduos florestais como fonte energética, além da ampliação de produtos florestais bio-based. Conjuntamente, estas perspectivas possuem ampla capacidade de contribuir para equilibrar a relação entre as atividades humanas e o

meio natural, do qual o agronegócio e as florestas plantadas com fins produtivos tanto dependem.

CAPÍTULO III

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Conforme mencionado na introdução, propôs-se a integração de vários métodos para atingir o objetivo desta tese, o que resultou em uma extensa sequência de procedimentos metodológicos. Por isso, buscou-se facilitar a compreensão deste capítulo, esquematizando na Figura 1 o fluxograma que sintetiza os procedimentos metodológicos pelos quais foi conduzida a tese para, em seguida, descrever detalhadamente cada um dos processos.

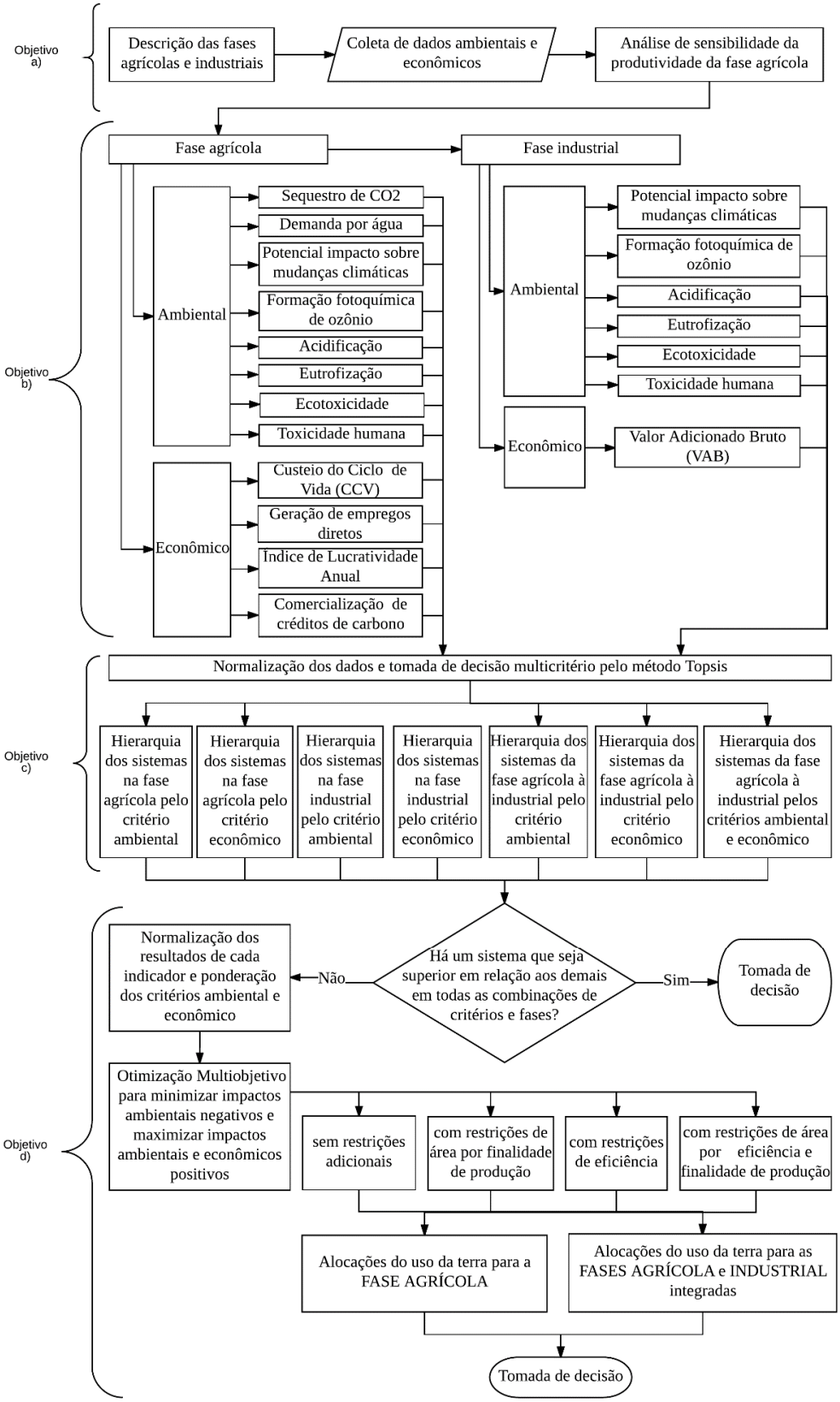
1 LOCAL DE PESQUISA

A propriedade rural simulada localiza-se no sul do município de Ribas do Rio Pardo, pois é o único no estado que possui plantio de eucalipto e pinus, sendo este último também com operações de resinagem, o que possibilita simular as diferentes finalidades de produção em condições naturais idênticas. Outro fator relevante é que o município possui a segunda maior área de florestas plantadas do estado e a extensão de seu território ainda favorece um aumento significativo dessa área.

Para a determinação da área da propriedade rural simulada foram utilizados dados do Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006). O município de Ribas do Rio Pardo possui uma área total de 1.533.762 hectares (ha), sendo 89% da área distribuídos em propriedades rurais acima de 1.000 ha. Propriedades entre 1.000 e 10.000 ha representam 65% da área do município, com uma área média de 2.774,25 ha. Dessa forma, a área da propriedade rural simulada foi definida como 2.500 hectares.

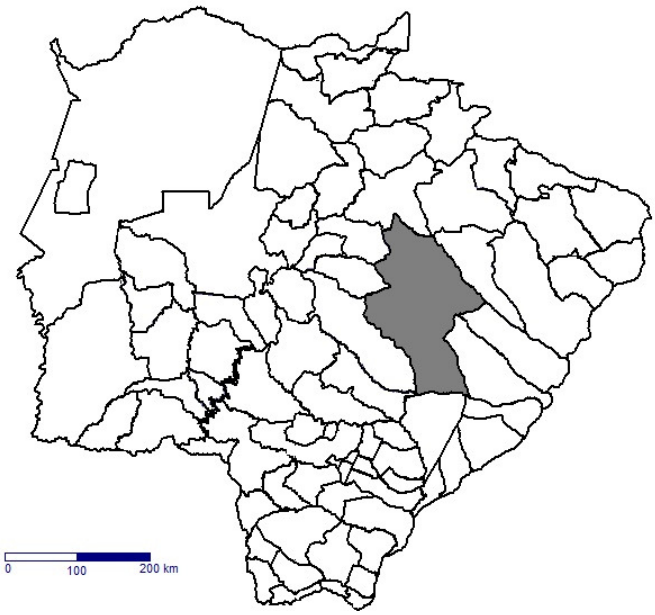
Ribas do Rio Pardo está situado no sul da região Centro-Oeste do Brasil, no leste de Mato Grosso do Sul, microrregião de Três Lagoas, na latitude de 20º26’34” Sul e longitude de 53°45’32” Oeste (Figura 2) (PREFEITURA MUNICIPAL DE RIBAS DO RIO PARDO, 2017).

Figura 1 – Fluxograma do desenvolvimento metodológico da tese.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 2 – Localização de Ribas do Rio Pardo no estado de Mato Grosso do Sul.



Fonte: Geoplaneta (2017).

Localizado na região dos Planaltos Rampeados, com vegetação de Cerrado, na região centro-norte do município predominam os Neossolos e, na região sul, o Latossolo de textura média, ambos com baixa fertilidade natural, apesar de existirem também algumas manchas de Planossolo (MATO GROSSO DO SUL, 2017). O clima predominante na região sul do município é de úmido a sub-úmido, com precipitação pluviométrica anual entre 1.500 a 1.750 mm (MATO GROSSO DO SUL, 2017). Corresponde ao tipo Aw da classificação de Köppen, tropical com estação seca no inverno (CLIMATE-DATA, 2017).

2 DESCRIÇÃO DA FASE AGRÍCOLA DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO FLORESTAL

As práticas silviculturais podem variar significativamente entre diferentes locais e também em uma mesma região para espécies de árvores distintas (GONZÁLEZ-GARCÍA *et al.*, 2014). Logo, devido à variabilidade da fase agrícola dos sistemas de produção florestal e, por isso, a inviabilidade de se obter sistemas representativos da região ainda que se realizasse um estudo de caso, optou-se pela simulação.

Os sistemas foram simulados a partir de dados coletados em entrevistas e questionários com produtores e especialistas da área, além de artigos técnicos e científicos publicados sobre o tema. Esta estratégia possibilitou que se obtivessem informações sobre o manejo e dados quanto ao uso de insumos e maquinários, mão-de-obra, entre outros. Assim, o propósito não é o de representar como estas florestas são produzidas no estado de Mato Grosso do Sul, mas de avaliar sistemas de produção que seriam possíveis de serem encontrados nesta região.

Para a fase agrícola, foram avaliados cinco sistemas de produção florestais de *Pinus caribaea* var. *hondurensis x tecunumanii* e *Eucalyptus urograndis* I144 com diferentes finalidades e, por consequência, diferentes espaçamentos e densidades de plantio (Tabela 1). A descrição detalhada do manejo de cada sistema é apresentada no Apêndice 2.

Tabela 1 - Descrição do espaçamento e densidade dos plantios dos sistemas analisados, de acordo com a finalidade de produção.

Sistema	**Finalidade(s) de produção**	**Espaçamento**	**Árvores/ha**
EC	Eucalipto para celulose	3,4m x 2,3m	1300
PC	Pinus para celulose	3m x 1,5m	2222
EM	Eucalipto para madeira serrada	3m x 2m	1667
PM	Pinus para madeira serrada	3m x 2m	1667
PRM	Pinus para madeira serrada e goma-resina	3m x 2m	1667

Fonte: Elaborada pela autora.

Nos sistemas destinados à produção de celulose, não são realizados desbastes, sendo feito, portanto, o corte raso ao final do ciclo. Já nos sistemas que têm como objetivo principal a produção de madeira, são realizados desbastes seletivos, ou seja, a remoção periódica das menores árvores do povoamento, seja em diâmetro ou altura. Em nenhum sistema há coleta dos resíduos florestais, havendo formação de serapilheira, que exerce uma importante função de restaurar parte dos nutrientes que foram retirados do solo durante o crescimento das árvores.

Os sistemas destinados à produção de madeira possuem o mesmo período de ciclo de 21 anos. O manejo dos sistemas de pinus para madeira e resina distingue-se do sistema destinado a apenas madeira pelo número de desbastes realizados e de árvores desbastadas

em cada um. O período de resinagem inicia-se aos 12 anos, do mês de setembro do ano corrente ao mês de maio do ano ano subsequente. No período de inverno, entre os meses de junho e agosto, há o descanso das árvores, quando são fixados novamente os recipientes coletores para a próxima safra.

3 ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DA FASE AGRÍCOLA

Após descrever detalhadamente o manejo de cada sistema de produção e validar essas descrições com especialistas da área, foi realizada uma análise de sensibilidade sobre a produtividade desses sistemas, já que este dado é bastante variável e, ao mesmo tempo, crítico para as análises ambientais e econômicas realizadas posteriormente. A análise de sensibilidade determina quanto a variação na saída de um modelo numérico pode ser atribuída à variações nos fatores de entrada (PIANOSI *et al.*, 2016). Por isso está sendo cada vez mais utilizada em modelagens ambientais com vários propósitos, dentre eles, proporcionar uma tomada de decisão mais robusta (PIANOSI *et al.*, 2016).

A análise de sensibilidade foi baseada na média divulgada pela Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2017) para o ano de 2016, as quais foram de 35,7 m^3/ha/ano para os plantios de eucalipto e 30,5 m^3/ha/ano para os de pinus, de acordo com as informações reportadas pelas principais empresas do setor. A partir dessa informação e da variação de produtividades médias conhecidas para o plantio dessas espécies no Brasil, foi feita uma análise de sensibilidade para o Incremento Médio Anual (IMA), considerando uma variação de 30 a 40 m^3/ha/ano para o eucalipto e de 25 a 35 m^3/ha/ano para o pinus.

Com base nisso, realizou-se uma distribuição discreta dos valores possíveis para os IMAs por meio do suplemento de análise de dados do *software* Excel. A distribuição foi feita a partir da geração de 10.000 números aleatórios, restritos aos limites pré-estabelecidos, com intervalo de 0,5 entre eles e a mesma probabilidade para cada um ocorrer. Posteriormente foram calculados a média, o desvio padrão da distribuição e os valores mínimo e máximo dos IMAs de cada sistema.

Em seguida, com o auxílio dos softwares SisEucalipto e SisPinus, ambos da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), foram simulados os manejos de cada sistema (duração do ciclo, número de árvores por hectare, períodos e quantidades de árvores dos desbastes e/ou corte) com IMAs mínimo, máximo e médio, de acordo com os valores estabelecidos pela distribuição. Como resultado das simulações, obtiveram-se diferentes Índices de Sítio (IS) para cada sistema.

O IS é a medida do potencial de produtividade do sítio, ou seja, a capacidade de uma área em possibilitar o crescimento de determinada espécie, pelas características do local ou sítio, como solo e clima (EMBRAPA, 2017), além de aspectos relativos ao manejo e a qualidade do material genético utilizado. A capacidade do sítio pode ser avaliada utilizando-se o crescimento em altura das árvores dominantes (altura dominante), cuja definição mais usual considera a altura média das 100 árvores de maior diâmetro em um hectare em uma idade de referência (EMBRAPA, 2017).

Considerando que, quanto maior o IS, maior é a capacidade de produção de determinado local, para cada IMA dos sistemas obtiveram-se diferentes IS. Como consequência, obtiveram-se três volumes de produção distintos para cada sistema (mínimo, máximo e médio), bem como o sortimento da produção dos desbastes e/ou corte para celulose, serraria e energia. Tais dados foram relevantes tanto para o cálculo de impactos ambientais, como econômicos.

4 DESCRIÇÃO DA FASE INDUSTRIAL DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO FLORESTAL

Foi analisada também a fase de processamento industrial das matérias-primas geradas pelas florestas plantadas de pinus e eucalipto com diferentes finalidades. A fase industrial consiste no processamento da madeira produzida na fase agrícola em madeira serrada e celulose (para ambas espécies florestais) e a produção de breu e terebintina a partir da extração de goma-resina de árvores de pinus e como subprodutos do processamento da celulose de pinus, que é conhecido como processo *kraft* (Quadro 3).

Como a comparação dos sistemas industriais para obter a(s) melhor(es) alternativas de uso da terra refere-se à industrialização dos produtos gerados em 1 hectare de floresta plantada (fase agrícola), também foram consideradas as produtividades mínima, máxima e média em cada sistema. Os processos compreendidos em cada sistema industrial são descritos detalhadamente no Apêndice 3.

Quadro 3 – Descrição da fase industrial dos sistemas de produção florestal.

Sistema	Descrição
EC MÍN EC MÁX EC MÉD	Celulose de eucalipto
PC MÍN PC MÁX PC MÉD	Celulose de pinus
PC BT MÍN PC BT MÁX PC BT MÉD	Celulose de pinus + breu e terebentina a partir do processo *kraft*
EM MÍN EM MÁX EM MÉD	Madeira serrada de eucalipto
PM MÍN PM MÁX PM MÉD	Madeira serrada de pinus
PRM MÍN PRM MÁX PRM MÉD	Madeira serrada de pinus + breu e terebentina a partir de goma-resina

Fonte: Elaborada pela autora.

5 COLETA DE DADOS DA FASE INDUSTRIAL

No estado de Mato Grosso do Sul existem indústrias de beneficiamento de madeira e celulose para as quais foram simuladas as fases industriais (Figura 3). Já a extração do breu e terebentina como subproduto da celulose e a partir da goma-resina não são realizados atualmente no estado, mas a simulação considerou a existência de indústrias que realizam estas atividades. Isto possibilitará que os tomadores de decisão avaliem também estas alternativas de investimento e diversificação do setor florestal no estado.

Os dados relativos à produção de celulose foram coletados do relatório de sustentabilidade da Fibria Celulose S.A. (2016), de madeira serrada no estudo de Manhiça, Rocha e Timofeiczyk Junior (2013), de produção de breu e terebentina a partir de goma-resina do relatório de sustentabilidade da Celulose Irani S.A. (2014) e da produção de breu e terebentina por meio do processo *kraft* do estudo de Cashman, Moran e Gaglione (2015).

Figura 3 – Aglomerações industriais do segmento de florestas plantadas em MS.

Fonte: MS Florestal (2013, p.21).

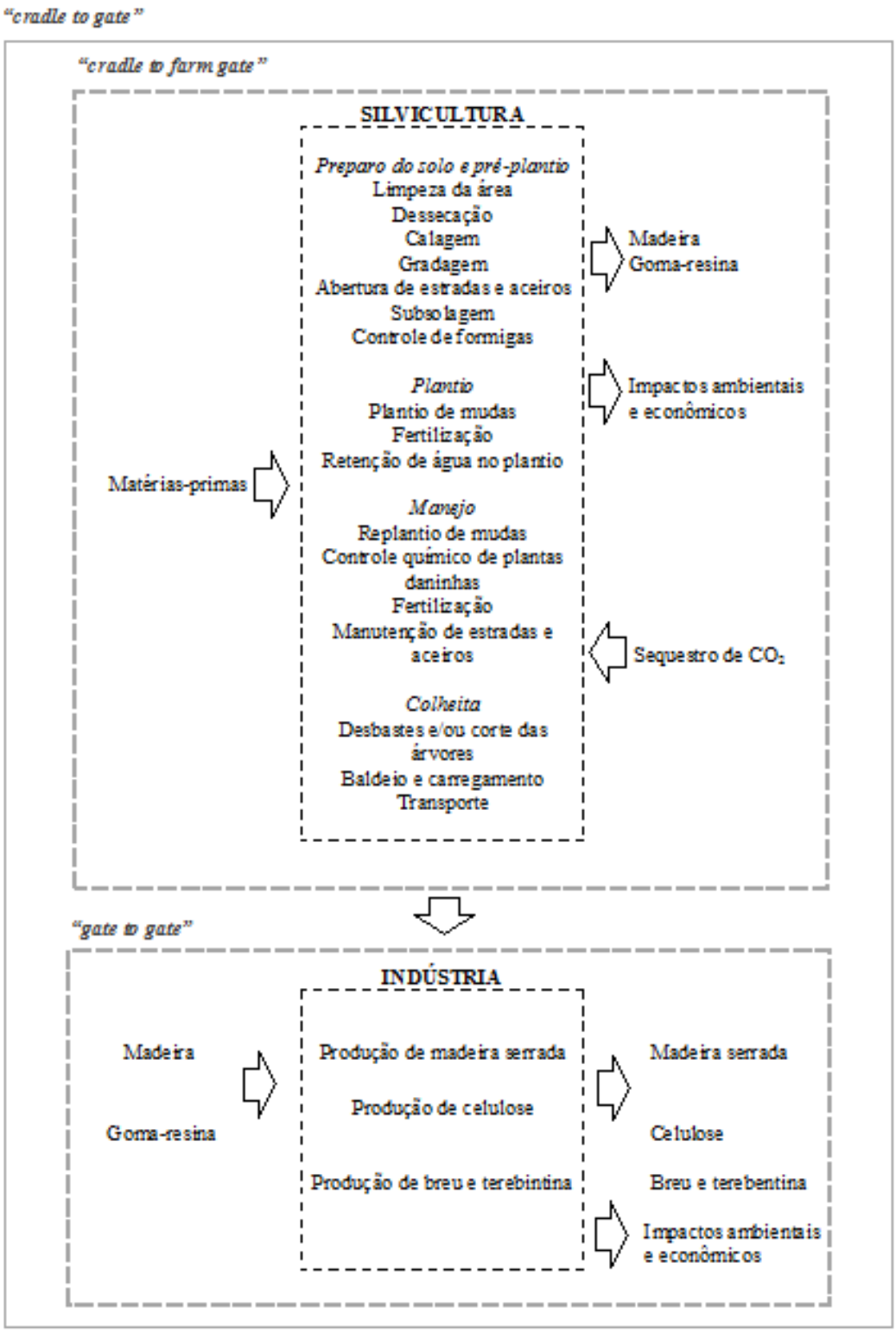
6 ESCOPO

O escopo deste estudo pode ser divido em três fases. Primeiramente define-se como *"cradle to farm gate"*, compreendendo desde a extração de matérias-primas, os processos dentro da propriedade rural até a saída dos produtos do portão da fazenda. Posteriomente, realizou-se uma análise restrita aos processos no interior das indústriais, caracterizando um escopo do tipo "*gate to gate*". Finalmente, após a agregação dos dados referentes à fase agrícola da produção florestal até o produto final das serrarias e das indústrias química e de celulose, o escopo passa a ser definido como *"cradle to gate"* (Figura 4).

7 UNIDADE FUNCIONAL

O uso da terra é definido como os fins para os quais o homem explora a cobertura do solo, incluindo qualquer forma pela qual atributos biofísicos do solo são manipulados bem como o propósito pelo qual ocorre essa manipulação, como por exemplo, a silvicultura (LAMBIN; GEIST, 2008).

Figura 4 – Escopo da análise ambiental e econômica *"cradle to gate"* dos sistemas de produção florestais analisados.



Fonte: Elaborada pela autora.

Diferentemente da maioria dos estudos de Avaliação do Ciclo de Vida, nos quais predominam as análises por unidade de produto (DIAS; ARROJA, 2012), nesta tese utilizou-se outra unidade funcional, pois o objetivo era comparar diferentes espécies para a otimização do uso da terra por florestas plantadas com fins produtivos. Por isso, utilizou-se como unidade funcional, tanto na fase agrícola como industrial, a unidade de área de 1 hectare por ano do ciclo.

Dessa forma, a fase industrial representa o processamento das matérias-primas geradas por 1 hectare em um ano do ciclo de cada sistema na fase agrícola. Isto facilitou a agregação dos impactos de ambas as fases e permitiu avaliar de forma coerente as possíveis consequências de diferentes opções de uso de solo.

8 INVENTÁRIO

O inventário ambiental da fase agrícola é decorrente da quantidade e tipo de insumos, maquinários e transporte utilizados (Apêndice 4). Já o inventário ambiental da fase industrial é composto pela quantidade de combustíveis e energia elétrica utilizados, pois esses insumos estão presentes em todos os processos industriais (Apêndice 5). Foi necessário restringir o cálculo dos potenciais impactos ambientais a esses itens para equilibrar a comparação entre os sistemas, uma vez que foram obtidos diferentes níveis de detalhamento dos processos nas fontes consultadas.

Os dados ambientais relativos aos potenciais impactos das fases agrícola e industrial foram coletados do banco de dados *Ecoinvent*. Os custos de produção necessários para o Custeio do Ciclo de Vida da fase agrícola foram coletados diretamente com fornecedores da região, cuja descrição por fase e ano está disponível no Apêndice 6.

9 ANÁLISE DE IMPACTOS

9.1 IMPACTO AMBIENTAL

As categorias de impacto mais relevantes foram definidas após a análise do inventário ambiental e a identificação na literatura dos potenciais impactos ambientais que poderiam estar associados ao uso dos insumos, maquinários e transporte (na fase agrícola) e combustíveis e energia elétrica (na fase industrial). Com o auxílio do *software*

Simapro, foram analisadas as seguintes categorias de potenciais impactos ambientais para ambas as fases: potencial impacto sobre mudanças climáticas (GWP-100a), formação fotoquímica de ozônio, eutrofização, acidificação, toxicidade humana e ecotoxicidade. Uma descrição mais detalhada de cada uma destas categorias é apresentada nas Tabelas 2 e 3.

Os métodos de atribuição de impactos selecionados foram os de ponto médio: USEtox *(consensus only)* V1.04 (2008) para a toxicidade humana e ecotoxicidade e o CML-IA *baseline* V3.02 (2001) para as demais categorias. O CML-IA é uma base de dados que contém fatores de caracterização para a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida e que foi elaborada pelo CML, departamento de Ecologia Industrial da Faculdade de Ciências da Universidade de Leiden (GUINÉE *et al.*, 2001). Já o USEtox é um modelo construído a partir do consenso científico entre pesquisadores de vários centros de pesquisa para caracterizar efeitos tóxicos de substâncias químicas para a saúde humana e os ecossistemas (USETOX, 2017).

Como ainda não existe um método de atribuição de impacto específico para o Brasil, optou-se pela aplicação conjunta desses dois métodos que têm abrangência global e são amplamente aceitos, conforme recomendam Silva (2012) e outros autores. Em especial, a utilização do USEtox para as categorias de ecotoxicidade e toxicidade humana deve-se ao fato de que este foi desenvolvido especificamente com este foco e é considerado o método mais robusto disponível atualmente para estas categorias.

Tabela 2 - Descrição das categorias de impacto analisadas pelo método CML (continua).

Potencial de aquecimento global - GWP100a	**Unidade: kg CO_2 eq**
O GPW (*Global Warming Potential*) é um índice que mede a potencial contribuição de uma subtância para as mudanças climáticas. É expresso pela relação entre o aumento da absorção infravermelha devido à emissão instantânea de 1 kg de determinada subtância, para a qual é feita uma equivalência às emissões de dióxido de carbono (CO_2) por meio de fatores de conversão estabelecidos pelo IPCC. A integração dos processos que ocasionam o aquecimento global depende do horizonte de tempo considerado, que pode variar de 50 a 500 anos. O mais recomendado é optar pelo período de 100 anos para obter efeitos cumulativos de longo prazo, com incertezas reduzidas em relação a períodos mais abrangentes.	

Fonte: Elaborada a partir de Guinée *et al.* (2001).

Tabela 2 - Descrição das categorias de impacto analisadas pelo método CML (continuação).

Formação fotoquímica de ozônio	**Unidade: kg C_2H_4 eq**
Formação fotoquímica ou foto-oxidante, também conhecida como *smog* de verão ou poluição secundária do ar, refere-se à formação de compostos químicos reativos pela pela ação da luz do sol em determinados poluentes primários do ar. Tais compostos químicos, sendo o ozônio o mais relevante dentre eles, podem ser prejudiciais para a saúde humana e de ecossistemas, além de ocasionar danos para os cultivos agrícolas. Os foto-oxidantes formam-se na troposfera sob a ação da luz ultravioleta, por meio da oxidação foto-química de compostos orgânicos voláteis (VOCs) e monóxido de carbono (CO) na presença de óxidos nitrogenados (NO_x).	
Eutrofização	**Unidade: kg PO4--- eq**
Eutrofização abrange todos os potenciais impactos de níveis excessivos de macronutrientes no meio ambiente, especialmente de nitrogênio (N) e fósforo (P). O aumento desses nutrientes no meio ambiente pode ocasionar alterações indesejáveis na composição de espécies e elevar a produção de biomassa nos ecossistemas aquáticos e terrestres. Altas concentrações desses nutrientes nos ecossistemas aquáticos levam ao aumento da produção de biomassa, que, como consequência geram a diminuição dos níveis de oxigênio, por conta do consumo adicional para a decomposição da biomassa.	
Acidificação	**Unidade: kg SO2 eq**
Poluidores acidificantes causam vários impactos no solo, nas águas subterrâneas e da superfície, organismos biológicos, ecossistemas e materiais. Alguns exemplos são a mortalidade de peixes, declínio de florestas e o desmoronamento de construções. Os principais poluidores acidificantes são SO_2, NO_x e NH_x.	

Fonte: Elaborada a partir de Guinée *et al.* (2001).

Tabela 3 - Descrição das categorias de impacto analisadas pelo método USEtox (continua).

Toxicidade humana	**Unidade: CTUh**
Para a toxicidade humana são considerados efeitos cancerígenos e não cancerígenos somados, com fatores de ponderação idênticos, resultando em um fator de caracterização único por compartimento de emissão. O fator de caracterização é expresso em unidades tóxicas comparativas (*Comparative Toxic Units* – CTUh), que fornecem uma estimativa do aumento na mortalidade na população humana total por unidade de massa de um químico emitido (casos por kg)**.**	

Fonte: Elaborada a partir de Rosembaum *et al.* (2008).

Tabela 3 - Descrição das categorias de impacto analisadas pelo método USEtox (continuação).

Ecotoxicidade	**Unidade: CTUe**
A ecotoxicidade é representada pelo fator de caracterização da ecotoxicidade aquática potencial e também é expressa em unidades de tóxicas comparativas (CTUe), fornecendo uma estimativa da fração de espécies que potencialmente serão afetadas.	

Fonte: Elaborada a partir de Rosembaum *et al.* (2008).

Outros dois importantes potenciais impactos ambientais da fase agrícola também foram analisados: o sequestro de carbono e a demanda por água. O sequestro de carbono foi calculado por meio da abordagem Tier 2 do método do IPCC (AALDE *et al.*, 2006) para florestas, com base no estoque de carbono na biomassa acima e abaixo do solo (Equações 1 e 2).

$$\Delta C_B = \frac{(C_{t2} - C_{t1})}{(t_2 - t_1)} \quad (1)$$

Onde:

$$C = \sum_{i,j}\{A_{ij} \times V_{ij} \times BCEFs_{ij} \times (1 + R_{ij}) \times CF_{ij}\} \quad (2)$$

ΔC_B = variação nos estoques de carbono na biomassa (t de C)

C_{t2} = carbono total na biomassa no t1 (t de C)

C_{t1} = carbono total na biomassa no t2 (t de C)

C = carbono total na biomassa nos tempos t1 e t2 (t de C)

A = área (ha)

V = volume de biomassa comercializável em crescimento (m^3/ha)

i = zona ecológica

j = domínio climático

R = razão entre biomassa acima e abaixo do solo (t de biomassa acima e abaixo do solo)

CF = fração de carbono na matéria seca (t por biomassa acima do solo)

BCEFs = fator de conversão e expansão da biomassa comercializável em biomassa acima do solo

Os dados utilizados para o cálculo foram: área, volume de biomassa comercializável em crescimento, razão entre a biomassa acima e abaixo do solo, fração de carbono na matéria seca (relativos à zona climática onde encontra-se a floresta) e o

fator de conversão e expansão da biomassa comercializável em biomassa acima do solo (específicos das espécies em determinada zona climática). A área e o volume de biomassa comercializável em crescimento foram obtidos dos dados coletados nesta pesquisa e os demais estão disponíveis nas próprias Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa do IPCC (AALDE *et al.*, 2006).

A demanda por água foi calculada pelo método de Hoekstra *et al.* (2009), limitada ao componente verde, uma vez que não estão disponíveis dados sobre a irrigação dos plantios, determinante da pegada azul, nem da taxa de lixiviação de componentes químicos, bem como sua concentração nos recursos hídricos próximos às florestas, que possibilitariam definir a pegada cinza. Dessa forma, a demanda por água foi definida pelo elemento verde, que refere-se ao volume de água da chuva consumido durante o processo de produção, por meio do processo de evapotranspiração e da incorporação de água na madeira colhida, calculados pelas Equações 3 a 5 (HOEKSTRA *et al.*, 2009).

$$\text{WFproc,green} = \text{GreenWaterEvaporation} + \text{GreenWaterIncorporation} \quad (3)$$

$$WF_{proc,green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad (4)$$

Onde:

$$CWU_{green} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{green} \quad (5)$$

$WF_{proc,\ green}$ = componente verde relativo ao processo de crescimento da cultura (m^3/t)

CWU_{green} = componente verde do uso de água pela cultura (m^3/ha)

Y = produtividade (t/ha)

ET = evapotranspiração diária acumulada durante o período de crescimento (mm/dia)

A estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) foi calculada a partir de variáveis meteorológicas, com o auxilio do software CROPWAT 8.0 da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) (ALLEN *et al.*, 1998). Os parâmetros de entrada do CROPWAT 8.0 foram as temperaturas máxima e mínima (°C), a umidade relativa do ar (%), a velocidade do vento (km/dia) e a radiação solar (horas). Os dados meteorológicos foram obtidos da estação mais próxima a Ribas do Rio Pardo, no município de Campo Grande, latitude 20º S, longitude 38º W e altitude 528 m.

Cabe ressaltar que a ETo expressa o poder evaporativo da atmosfera num determinado sítio em um momento do ano e não leva em conta as características do cultivo e do solo (LANZA, 2015). Além da evapotranspiração, foi considerada também a água incorporada na madeira colhida, com base no teor de umidade de 34% para o eucalipto e 86,65% para o pinus, de acordo com dados de Almeida *et al.* (2014). Esta fração da pegada hídrica é dada pela multiplicação do volume de madeira produzido pelo teor de umidade da madeira. No entanto, esta porção de água não é significativa no cômputo da pegada hídrica, pois representou menos de 0,1 %, conforme já indica o manual de Water Footprint, pois normalmente representa entre 0,1 e 1%.

9.2 IMPACTO ECONÔMICO

Primeiramente realizou-se a análise do Custeio do Ciclo de Vida (CCV), que englobou todos os custos desde a aquisição de matérias-primas até o final do ciclo da fase agrícola. Em seguida, foram realizadas as análises de investimentos a partir do cálculo do Índice de Lucratividade Anualizado (ILA), representado pela Equação 6.

$$ILA = \left\{ \frac{\left[\sum_{t=1}^{n} \frac{R_t - D_t}{(1+i)^t} \right].i}{\left| \sum_{t=1}^{n} \frac{D_t}{(1+i)^t} \right|.[1-(1+i)^{-n}]} \right\} \quad (6)$$

ILA = Índice de Lucratividade Anualizado;

R_t = entradas de caixa (receitas) esperadas durante o período t;

D_t = saídas de caixa (despesas) esperadas durante o período t;

i = taxa de juros ou taxa de desconto (TMA);

n = vida útil do projeto;

O método consiste em distribuir anualmente o valor do VPL (Valor Presente Líquido) por unidade de investimento do projeto, durante toda a sua vida útil (FRANCO; GALLI, 2007). Por meio dele é possível solucionar simultaneamente as limitações do VPL em comparar projetos com investimento e prazos diferentes (FRANCO; GALLI, 2007). Por isso considerou-se o ILA uma ferramenta adequada para comparar os sistemas de forma justa. Para o seu cálculo, considerou-se a taxa de juros vigente de 8,5% a.a. do FCO Rural Investimento do Banco do Brasil destinado a, dentre outros, produtores rurais da região Centro-Oeste.

O ILA também foi calculado simulando a existência de um mercado de créditos de carbono. Os créditos foram estimados pela subtração do sequestro de CO_2 na biomassa do potencial impacto sobre as mudanças climáticas, obtendo-se assim emissões líquidas negativas. O preço considerado para o cálculo da receita foi de R$ 10,35/tonelada CO_2 (cotação do dólar em R$ 3,14 em 04/09), com base na média das transações mundiais no ano de 2015, de $3.3/tonelada CO_2 (ECOSYSTEM MARKETPLACE, 2016).

Devido à indisponibilidade de dados completos referentes aos custos de produção da fase industrial, realizou-se uma análise econômica pelo cálculo do Valor Adicionado Bruto (VAB), baseado no valor agregado à matéria-prima tendo como referência os preços desta e dos produtos finais. A utilização do VAB como indicador econômico justifica-se por estar diretamente relacionado ao faturamento bruto da indústria e, consequentemente, à geração de impostos, indicadores macroeconômicos relevantes para o estado de Mato Grosso do Sul.

10 ALOCAÇÃO DE IMPACTOS

Como o objetivo do estudo é comparar os sistemas por unidade de área, não houve necessidade de alocar os impactos, exceto em duas situações: para calcular os potenciais impactos da fase industrial da produção de breu e terebintina, que foram alocados segundo o critério de massa; e para agregar os potenciais impactos da fase industrial do sistema PRM. Esta foi composta pela serraria e a indústria de derivados de breu e terebintina, que tiveram seus impactos analisados conjuntamente para uma comparação adequada com os demais sistemas industriais.

11 MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

Para determinar a solução mais satisfatória dentre várias alternativas, existem duas abordagens principais de apoio à tomada de decisão e a escolha por uma delas dependerá da racionalidade do decisor ao demonstrar suas preferências. A primeira é a abordagem de sobreclassificação ou superação, pela qual são feitas comparações par a par para verificar qual alternativa é superior em cada critério e, ao final, a alternativa melhor avaliada é a que apresentar superioridade na maioria dos critérios (ALMEIDA, 2011). No entanto, métodos deste tipo, como o Promethee, não possibilitam a hierarquização das

alternativas e não permite trade-offs entre os critérios (ALMEIDA, 2011). Ou seja, uma alternativa pode ser superior na maioria dos critérios e ao mesmo tempo, ser a pior em algum(uns) critérios que sejam relevantes para os tomadores de decisão.

Por isso que, quando a racionalidade envolve a ponderação de critérios e inclui trade-offs, os métodos mais indicados são os da Teoria da Utilidade Multiatributo ou do Critério Único de Síntese , como o Topsis, para o qual a solução ideal positiva é aquela que maximiza os critérios de benefício e minimiza os critérios de custo (ALMEIDA, 2011).

11.1 TOPSIS

A variedade de indicadores utilizados para avaliar os sistemas de produção dificulta uma simples comparação para tomada de decisão. Trata-se de um problema de decisão multicritério, pois existem mais de duas alternativas de escolha, com critérios conflitantes entre si e restrições para a análise (TZENG; HUANG, 2011).

O método multicritério escolhido para selecionar a melhor finalidade de produção para o uso da terra em cada fase foi o TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution*). Este método cria um ranqueamento das alternativas a partir do cálculo isolado de cada critério avaliado, onde a melhor alternativa consiste naquela que possui a maior distância da solução negativa e a menor distância da solução ideal (TZENG; HUANG, 2011). Já os critérios são representados pelos conjuntos de indicadores que compõem as análises ambiental e econômica.

Para o critério ambiental foram considerados como indicadores: emissões líquidas (fase agrícola e fases integradas) ou potencial de aquecimento global (fase industrial), formação fotoquímica de ozônio, acidificação, eutrofização, ecotoxicidade, toxicidade humana e demanda por água (esta última exclusiva da fase agrícola). Já para o critério econômico, foram considerados como indicadores: ILA, ILA com comercialização de créditos de carbono e empregos diretos gerados (fase agrícola) e o valor adicionado bruto (VBA) na (fase industrial).

Para o cálculo, primeiramente é elaborada uma matriz de decisão (x_{ij}) com as alternativas (i) e critérios (j). Posteriormente os dados são normalizados, dividindo o valor de j pelo maior valor de j, evitando possíveis *outliers*. Posteriormente, são calculados o

desvio em relação ao cenário ideal (Equação 7) e o desvio em relação ao pior cenário (Equação 8).

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(n_{ij} - n_j^+)^2} \quad (7)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(n_{ij} - n_j^-)^2} \quad (8)$$

S_i^+ = desvio em relação à melhor alternativa.
S_i^- = devio em relação à pior alternativa.
n_{ij} = valor da alternativa *i* avaliada no critério *j*
$n_j^{\pm}$= valor da melhor ou da pior alternativa *i* no critério *j*

O modelo finaliza com o cálculo do valor (C^+), que determina da alternativa em relação a melhor e pior solução (Equação 9). Em seguida, os valores são ranqueados de forma crescente, onde o maior valor representa a melhor alternativa encontrada.

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{(S_i^+ + S_i^-)} \quad (9)$$

C_i^+= distância da melhor e pior alternativa
S_i^+ = desvio em relação à melhor alternativa.
S_i^- = devio em relação à pior alternativa.

11.2 OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO

Em processos de tomada de decisão nos quais há vários objetivos a serem alcançados, que geralmente são conflitantes entre si e onde raramente existe uma solução que seja ótima para todos os objetivos simultaneamente, diz-se que há um problema de otimização multiobjetivo (SAMPAIO, 2011). Nesse sentido, a Programação Matemática busca encontrar a maneira mais eficiente de usar recursos limitados para atingir um

determinado objetivo e, por isso, é comumente denominada como otimização (RAGSDALE, 2009).

O conceito chave na base dessa ferramenta é o da solução não dominada (ótima de Pareto, eficiente ou não inferior), que é o de uma solução para a qual não existe outra solução admissível que melhore simultaneamente todas as funções objetivo (ANTUNES; ALVES, 2012). Por essa razão, requer um procedimento de solução interativa no qual o tomador de decisão investiga uma série de soluções para encontrar a mais satisfatória (RAGSDALE, 2009).

A formulação e a solução de um problema de otimização envolvem a identificação das variáveis de decisão e a expressão de uma função objetivo e de quaisquer restrições em termos de variáveis de decisão (RAGSDALE, 2009). A função objetivo e as restrições podem ser lineares ou não lineares, o que implicará em diferentes cálculos para determinar a solução (RAGSDALE, 2009). Como para o problema desta tese as funções objetivo e as restrições são de natureza linear, foi possível resolver o problema de otimização a partir da Programação Linear pelo método Simplex, com auxílio do MS Solver, um suplemento disponível no *software* MS Excel.

A aplicação deste método possibilitou otimizar o uso da terra de uma área de 1.000.000 de hectares a ser ocupada por florestas plantadas de pinus e/ou eucalipto com diferentes finalidades de produção. Foi atribuído este valor de referência tendo como base a atual área de florestas de eucalipto no estado, mas o resultado da otimização é apresentado em percentuais. Optou-se por essa abordagem porque pode torna-se útil para qualquer área em que se pretenda otimizar o uso com florestas, uma vez que a área total não influencia no resultado da otimização e é dependente das condições de mercado específicas de cada situação.

Primeiramente foi feita a otimização da fase agrícola, de forma isolada e posteriormente com a integração de ambas, fases agrícola e industrial (Equações 10 a 13). Além das restrições de não negatividade e da área total onde foi otimizado o uso da terra, estabeleceram-se restrições adicionais de área destinada à produção de celulose e madeira e de eficiência em relação aos indicadores avaliados. Realizaram-se otimizações com diferentes combinações de inserção de restrições de área para determinado fim e de eficiência para avaliar a influência destas no resultado da solução obtida.

Funções objetivo:

$$MÁX: [X_1 + X_2 + \cdots + X_n]\ impactos\ econômicos\ e\ ambientais\ positivos \quad (10)$$

$$MIN: X_1 + X_2 + \cdots + X_n]\ impactos\ ambientais\ negativos \quad (11)$$

Sujeitas a:

$$X_1 + X_2 + \cdots + X_n = 1.000.000 \quad (12)$$

$$X_1, X_2, \ldots, X_n \geq 0]\ condições\ de\ não\ negatividade \quad (13)$$

Variáveis de decisão da fase agrícola:

$X_{1:}$ Área a ser ocupada por EC MÍN

$X_{2:}$ Área a ser ocupada por EC MÁX

$X_{3:}$ Área a ser ocupada por EC MÉD

$X_{4:}$ Área a ser ocupada por PC MÍN

$X_{5:}$ Área a ser ocupada por PC MÁX

$X_{6:}$ Área a ser ocupada por PC MÉD

$X_{7:}$ Área a ser ocupada por EM MÍN

$X_{8:}$ Área a ser ocupada por EM MÁX

$X_{9:}$ Área a ser ocupada por EM MÉD

$X_{10:}$ Área a ser ocupada por PM MÍN

$X_{11:}$ Área a ser ocupada por PM MÁX

$X_{12:}$ Área a ser ocupada por PM MÉD

$X_{13:}$ Área a ser ocupada por PRM MÍN

$X_{14:}$ Área a ser ocupada por PRM MÁX

$X_{15:}$ Área a ser ocupada por PRM MÉD

Variáveis de decisão na agregação das fases agrícola e industrial:

$X_{1:}$ Área a ser ocupada por EC MÍN

$X_{2:}$ Área a ser ocupada por EC MÁX

$X_{3:}$ Área a ser ocupada por EC MÉD

$X_{4:}$ Área a ser ocupada por PC MÍN

$X_{5:}$ Área a ser ocupada por PC MÁX

$X_{6:}$ Área a ser ocupada por PC MÉD

$X_{7:}$ Área a ser ocupada por PC BT MÍN

$X_{8:}$ Área a ser ocupada por PC BT MÁX

$X_{9:}$ Área a ser ocupada por PC BT MÉD

$X_{10:}$ Área a ser ocupada por EM MÍN

$X_{11:}$ Área a ser ocupada por EM MÁX

X_{12}: Área a ser ocupada por EM MÉD
X_{13}: Área a ser ocupada por PM MÍN
X_{14}: Área a ser ocupada por PM MÁX
X_{15}: Área a ser ocupada por PM MÉD
X_{16}: Área a ser ocupada por PRM MÍN
X_{17}: Área a ser ocupada por PRM MÁX
X_{18}: Área a ser ocupada por PRM MÉD

Adicionalmente, estas otimizações foram baseadas em três ponderações distintas dos critérios ambientais e econômica. Na primeira, assumiu-se igual importância a ambos os critérios, sendo que cada um teve peso de 50% para encontrar a solução mais adequada. Para testar quão robusta e confiável foram as saídas, também assumiu-se que a preferência dos tomadores de decisão quanto aos critérios também pode diferir. Por isso também optou-se por adotar os pesos de 70% / 30% e 30% / 70% para os critérios ambiental e econômico. Dada a diferença no número de indicadores para cada critério, os pesos foram divididos pelo respectivo peso do critério para então se computar o peso de cada indicador.

Para a otimização, foram considerados os mesmos indicadores para a composição dos critérios ambiental e econômico utilizados no ranqueamento pelo TOPSIS. Na integração das fases, foram agrupados os indicadores dos critérios ambiental e econômico dos sistemas industriais de madeira serrada de pinus a partir do sistema agrícola PRM e a indústria de breu e terebintina a partir da goma-resina. Da mesma forma, também foram agregadas a indústria de celulose de pinus e a produção de breu e terebintina via processo *kraft*. Uma vez que o objetivo do estudo é comparar os sistemas pela unidade funcional de 1 ha ao ano, justifica-se integrar as indústrias supridas pelo mesmo sistema agrícola.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os principais resultados que fundamentam as conclusões desta tese. Inicialmente, são expostas as produtividades da fase agrícola que embasaram as análises subsequentes. Em seguida, são descritos os resultados ambientais e econômicos bem como a hierarquização dos sistemas, de acordo com cada fase e critério, primeiro de forma isolada e depois integrados. Finalmente, é feita uma sugestão de alocação do uso da terra, decorrente das saídas geradas pela aplicação dos modelos de tomada de decisão multicritério.

1 PRODUTIVIDADE DA FASE AGRÍCOLA

O volume de madeira produzido por hectare durante os desbastes e/ou cortes de cada sistema, relativos aos diferentes valores de Incremento Médio Anual (IMA) simulados, são apresentados na Tabela 4. O resultado detalhado da simulação dos sistemas de produção nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto está disponível no Anexo 1. A produção total de goma-resina durante todo o ciclo do sistema PRM é de 22,47 toneladas por hectare.

Tabela 4 – Volume de madeira produzido por desbaste e/ou corte de cada sistema para diferentes Incrementos Médios Anuais simulados (continua).

Sistema		Produção de madeira por desbaste e corte (m^3)							Produção total (m^3)	IMA (m^3/ha/ano)
		7 anos	8 anos	12 anos	14 anos	15 anos	16 anos	21 anos		
EC	MÍN	217,3							217,3	31
	MÁX	269,1							269,1	38,4
	MÉD	242,6							242,6	34,7
PC	MÍN					398,2			398,2	26,5
	MÁX					508			508	33,9
	MÉD					453,3			453,3	30,2
EM	MÍN	99,9			141			428,1	669	31,9
	MÁX	119,1			172			512,3	803,4	38,3
	MÉD	109,5			156,4			470,5	736,4	35,1

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Tabela 4 – Volume de madeira produzido por desbaste e/ou corte de cada sistema para diferentes Incrementos Médios Anuais simulados (continuação).

Sistema		Produção de madeira por desbaste e corte (m^3)							Produção total (m^3)	IMA (m^3/ha/ano)
		7 anos	8 anos	12 anos	14 anos	15 anos	16 anos	21 anos		
PM	MÍN		53,1	65			124,6	321	563,7	26,8
	MÁX		69,5	83			156,6	399,6	708,7	33,7
	MÉD		61,2	73,9			140,4	360	635,5	30,3
PRM	MÍN		52,2	50,7				462,6	565,5	26,9
	MÁX		71,6	62,6				569,1	703,3	33,5
	MÉD		61,7	57				515,8	634,5	30,2

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

2 IMPACTOS AMBIENTAIS

Primeiramente serão apresentadas algumas considerações quanto ao cálculo e os resultados do sequestro de carbono (necessário para obter as emissões líquidas) e da pegada hídrica, ambos obtidos pela aplicação de métodos distintos dos que foram utilizados para atribuir os impactos das demais categorias (potencial de aquecimento global, formação fotoquímica de ozônio, acidificação, eutrofização, ecotoxicidade e toxicidade humana). Em seguida, serão discutidos os resultados de todas as categorias de impacto de forma conjunta para facilitar as comparações de desempenho ambiental entre os sistemas.

2.1 CÁLCULO DO SEQUESTRO DE CARBONO E EMISSÕES LÍQUIDAS

Conforme mencionado na seção de metodologia, o sequestro de CO_2 foi calculado com base no estoque de carbono na biomassa acima e abaixo do solo. Na Tabela 5 são apresentados os estoques de carbono na biomassa referente ao volume de madeira produzido em cada desbate e/ou corte dos sistemas, assim como o total de CO_2 sequestrado da atmosfera por um hectare durante todo o ciclo.

Tabela 5 – Sequestro de CO_2 baseado no estoque de carbono na biomassa acima e abaixo do solo por desbaste e/ou corte e ciclo, considerando variações nas produtividades dos sistemas agrícolas.

Sistema		Estoque de carbono na biomassa acima e abaixo do solo (t CO_2 / ha)							Total (t CO_2 / ha)
		7 anos	8 anos	12 anos	14 anos	15 anos	16 anos	21 anos	
	MÍN	84,33							84,33
EC	MÁX	104,43							104,43
	MÉD	94,15							94,15
	MÍN					128,78			128,78
PC	MÁX					164,29			164,29
	MÉD					146,60			146,60
	MÍN	38,77			54,72			166,14	259,63
EM	MÁX	46,22			66,75			198,81	311,78
	MÉD	42,49			60,70			182,59	285,78
	MÍN		18,73	22,93			40,30	103,81	185,77
PM	MÁX		24,52	29,28			50,64	129,23	233,68
	MÉD		21,59	26,07			45,41	116,42	209,49
	MÍN		18,42	17,89				149,60	185,91
PRM	MÁX		25,26	22,09				184,05	231,39
	MÉD		21,77	20,11				166,81	208,69

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

As emissões líquidas de cada sistema foram obtidas por meio da subtração do sequestro de CO_2 do resultado da categoria de potencial de aquecimento global, que foi calculada pelo método de atribuição de impacto CML com o auxílio do *software* Simapro (Tabela 6). Para comparação dos sistemas na categoria emissões líquidas, os resultados de um hectare foram anualizados.

Tabela 6 – Emissões líquidas do ciclo de produção por hectare e anualizadas por hectare (continua).

Sistemas		Emissões líquidas por hectare				Emissões líquidas por hectare anual		
		Aquecimento global (kg CO_2 eq)	Aquecimento global (t CO_2 eq)	Sequestro de CO_2 (t CO_2 eq)	Emissões líquidas (t CO_2 eq)	Aquecimento global (t CO_2 eq)	Sequestro de CO_2 (t CO_2 eq)	Emissões líquidas (t CO_2 eq)
EC								
	MÍN	1783,09	1,78	84,33	-82,55	0,25	-12,05	-11,79
	MÁX	1881,47	1,88	104,43	-102,55	0,27	-14,92	-14,65
	MÉD	1831,30	1,83	94,15	-92,32	0,26	-13,45	-13,19
PC								
	MÍN	1527,08	1,53	128,78	-127,25	0,10	-8,59	-8,48
	MÁX	1641,67	1,64	164,29	-162,65	0,11	-10,95	-10,84
	MÉD	1584,60	1,58	146,60	-145,01	0,11	-9,77	-9,67

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Tabela 6 – Emissões líquidas do ciclo de produção por hectare e anualizadas por hectare (continuação).

Sistemas	Emissões líquidas por hectare				Emissões líquidas por hectare anual		
	Aquecimento global (kg CO_2 eq)	Aquecimento global (t CO_2 eq)	Sequestro de CO_2 (t CO_2 eq)	Emissões líquidas (t CO_2 eq)	Aquecimento global (t CO_2 eq)	Sequestro de CO_2 (t CO_2 eq)	Emissões líquidas (t CO_2 eq)
EM							
MÍN	2897,09	2,90	259,63	-256,73	0,14	-12,36	-12,23
MÁX	3151,49	3,15	311,78	-308,63	0,15	-14,85	-14,70
MÉD	3024,66	3,02	285,78	-282,76	0,14	-13,61	-13,46
PM							
MÍN	1792,48	1,79	185,77	-183,98	0,09	-8,85	-8,76
MÁX	1943,79	1,94	233,68	-231,73	0,09	-11,13	-11,03
MÉD	1867,41	1,87	209,49	-207,63	0,09	-9,98	-9,89
PRM							
MÍN	2000,09	2,00	185,91	-183,91	0,10	-8,85	-8,76
MÁX	2143,90	2,14	231,39	-229,25	0,10	-11,02	-10,92
MÉD	2072,10	2,07	208,69	-206,61	0,10	-9,94	-9,84

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

2.2 CÁLCULO DA DEMANDA POR ÁGUA

O uso de água pelas plantas é definido pela perda total evaporativa ou evapotranspiração, resultante da interceptação, evaporação do solo e da transpiração (BENYON *et al.* 2007). Diversos fatores são determinantes para a taxa de evapotranspiração, como a localização geográfica, condições ambientais, espécie e estágio de desenvolvimento das plantas (CALDATO; SCHUMACHER, 2013).

Estudos demonstraram que o eucalipto exerce um controle estomático eficiente sobre a transpiração quando há um déficit de água no solo durante a estação seca do ano (ALMEIDA; SOARES, 2003; SOARES; ALMEIDA, 2001). Já em relação à idade do povoamento, é possível afirmar que a transpiração e a interceptação aumentam com o avanço da idade das plantações de eucalipto, mas que alcançam um pico em determinado momento, quando então começam a declinar (ALMEIDA *et al.*, 2007; ROBERTS; VERTESSY; GRAYSON, 2001; VERTESSY; WATSON; O′ SULLIVAN, 2001).

É preciso salientar que, apesar de basear-se na evapotranspiração, o método de Hoekstra *et al.* (2009) não considera tais especificidades do cultivo e a variabilidade das condições locais ao longo do tempo, impossibilitando fazer inferências quanto ao impacto do uso da água pelas florestas para a comunidade local. Para esta análise, seriam necessárias medições no local e acompanhamento por um longo período de tempo e

mesmo assim, poderiam haver divergências quanto a amplitude da análise, o que gera grande debate na comunidade científica.

Por isso, é necessário prudência ao comunicar os resultados da pegada hídrica por este método, ponderando sobre o contexto do estudo para evitar erros de interpretação (LAUNIAINEN *et al.*, 2014). Nesse sentido, optou-se por utilizar o termo "demanda por água", uma vez que, assim como alertam Launiainen *et al.* (2014), o modelo não capta diferenças de uso da água quando a floresta é manejada pelo homem ou não. Além disso, o uso de água efetivo é variável pelos motivos expostos anteriormente.

O método mostrou-se útil para estimar diferenças quanto ao uso de água pelo eucalipto e pinus por unidade de biomassa produzida (Tabela 7). Os resultados são coerentes com Van Oel e Hoekstra (2012) que concluíram que o pinus em bioma temperado para a produção de celulose possui uma pegada hídrica que varia de 298 m^3 de água por m^3 de madeira no Chile a 1001 m^3/m^3 na China; e para o eucalipto em bioma tropical esse valor varia de 233 m^3/m^3 no Brasil e 1081 m^3/m^3 nos Estados Unidos.

Apesar dos valores absolutos divergirem com os deste estudo, devido a diferenças quanto às condições climáticas, os valores obtidos para os sistemas manejados para celulose foram de 525,06 m^3/m^3 para o pinus e 457,32 m^3/m^3 para o eucalipto, dentro dos limites indicados pelos autores. No entanto, ao comparar potenciais impactos ambientais dos sistemas por hectare ao ano, os resultados foram praticamente idênticos.

A relação entre a água necessária para uma cultura compensar a perda por evapotranspiração (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo) pode ser determinada experimentalmente para culturas diferentes e é conhecido como o coeficiente da cultura (Kc) (ALLEN *et al.*, 1998). Ou seja, o Kc integra as características da cultura, as quais variam de acordo com estágio fenológico, com as condições climáticas locais (ALLEN *et al.*, 1998).

Os resultados obtidos por unidade de área (ha) fazem sentido pelo fato de que coníferas, como o pinus, possuem Kc igual a 1 (ALLEN *et al.*, 1998). E para o eucalipto foram encontrados valores próximos a este, de 1,04 por Facco (2004) e uma variação de 0,70 no estágio inicial de crescimento e 0,82 para a fase média de crescimento da cultura por Alves *et al.* (2013).

O Kc próximo de 1 representa condições ótimas de disponibilidade de água para grandes florestas (ALLEN *et al.*, 1998), ou seja, condições em que as florestas se beneficiarão ao máximo da disponibilidade deste recurso. Isto é confirmado por Almeida e Soares (2003) que, ao compararem áreas ocupadas com eucalipto e o bioma natural em

região de Mata Atlântica, concluíram que o regime hídrico não difere significativamente entre estas duas áreas. Como consequência, um Kc próximo a 1 não altera a estimativa de demanda por água por hectare das plantações de pinus e eucalipto consideradas neste estudo.

2.3 POTENCIAIS IMPACTOS AMBIENTAIS DA FASE AGRÍCOLA

Conforme alertam Dias e Arroja (2012), seria incoerente fazer uma comparação direta com os impactos absolutos obtidos em outros estudos por conta de importantes diferenças metodológicas quanto à fronteira dos sistemas, unidades funcionais e métodos de atribuição de impacto. Além disso, especificidades locais como práticas de manejo e condições climáticas e de solo influenciam de sobremaneira nos resultados.

Em especial, o presente estudo diferencia-se dos demais principalmente por conta da unidade funcional utilizada. Enquanto que a maioria dos estudos de ACV sobre florestas consideram o volume de madeira produzido (DIAS; ARROJA, 2012), devido ao objetivo deste estudo, semelhante ao de Brandão *et al.* (2010), a base de comparação dos potenciais impactos é por hectare de terra em um ano.

Como os resultados da avaliação de cada categoria foram normalizados, estes são apresentados em forma de percentuais, sendo que 100% representa o maior impacto obtido para as categorias consideradas como efeitos ambientais negativos dos sistemas de produção. Já as emissões líquidas são representadas por valores negativos, pois o resultado líquido das emissões é negativo, ou seja, os sistemas de produção sequestram mais CO_2 do que emitem gases do efeito estufa, o que significa uma consequência ambiental positiva dos sistemas de produção florestal.

Juntamente com os resultados ambientais, são apresentados os rankings dos sistemas determinados pelo método Topsis. Conforme explicado na seção de procedimentos metodológicos, quanto maior o valor obtido pelo sistema, melhor o seu desempenho quanto ao critério considerado. Assim, é possível compreender mais facilmente a comparação entre os sistemas, em cada critério e fases discutidos na sequência.

Os resultados obtidos para cada categoria de impacto revelam uma variação significativa quando são considerados diferentes cenários de manejo e produtividades para o pinus e eucalipto (Figura 5).

Tabela 7 – Demanda por água referente às produtividades mínima, máxima e média dos sistemas por unidade de produto, por hectare e por hectare ao ano.

Sistemas		Ciclo da produção (anos)	Produção (m^3)	Produção (t)	Produtividade (t / ha.ano)	Evapotranspiração (m^3/ t)	Incorporação na madeira (m^3/ t)	Demanda por água (m^3/ t)	Demanda por água (m^3/ ha)	Demanda por água (m^3/ ha.ano)
EC	MÍN	7	217,3	205,0	29,3	541,0	0,4	541,4	110960,8	15851,5
	MÉD	7	242,6	228,8	32,7	484,6	0,4	485,0	110969,0	15852,7
	MAX	7	269,1	253,8	36,3	436,9	0,4	437,2	110978,4	15854,1
PC	MÍN	15	398,2	207,1	13,8	1147,5	1,7	1149,2	237960,8	15864,1
	MÉD	15	453,3	235,7	15,7	1008,1	1,7	1009,7	238009,0	15867,3
	MAX	15	508,0	264,2	17,6	899,5	1,7	901,2	238056,1	15870,4
EM	MÍN	21	669,0	631,0	30,0	527,2	0,4	527,6	332888,2	15851,8
	MÉD	21	736,4	694,6	33,1	478,9	0,4	479,3	332911,0	15852,9
	MAX	21	803,4	757,8	36,1	439,0	0,4	439,4	332933,8	15854,0
PM	MÍN	21	563,7	293,1	14,0	1134,8	1,7	1136,6	333150,5	15864,3
	MÉD	21	635,5	330,5	15,7	1006,7	1,7	1008,3	333213,0	15867,3
	MAX	21	708,7	368,5	17,6	902,7	1,7	904,4	333276,0	15870,3
PRM	MÍN	21	565,5	294,1	14,0	1063,4	1,5	1064,9	333119,7	15862,8
	MÉD	21	634,5	329,9	15,7	947,8	1,5	949,2	333176,0	15865,5
	MAX	21	703,3	365,7	17,4	855,0	1,5	856,5	333231,5	15868,2

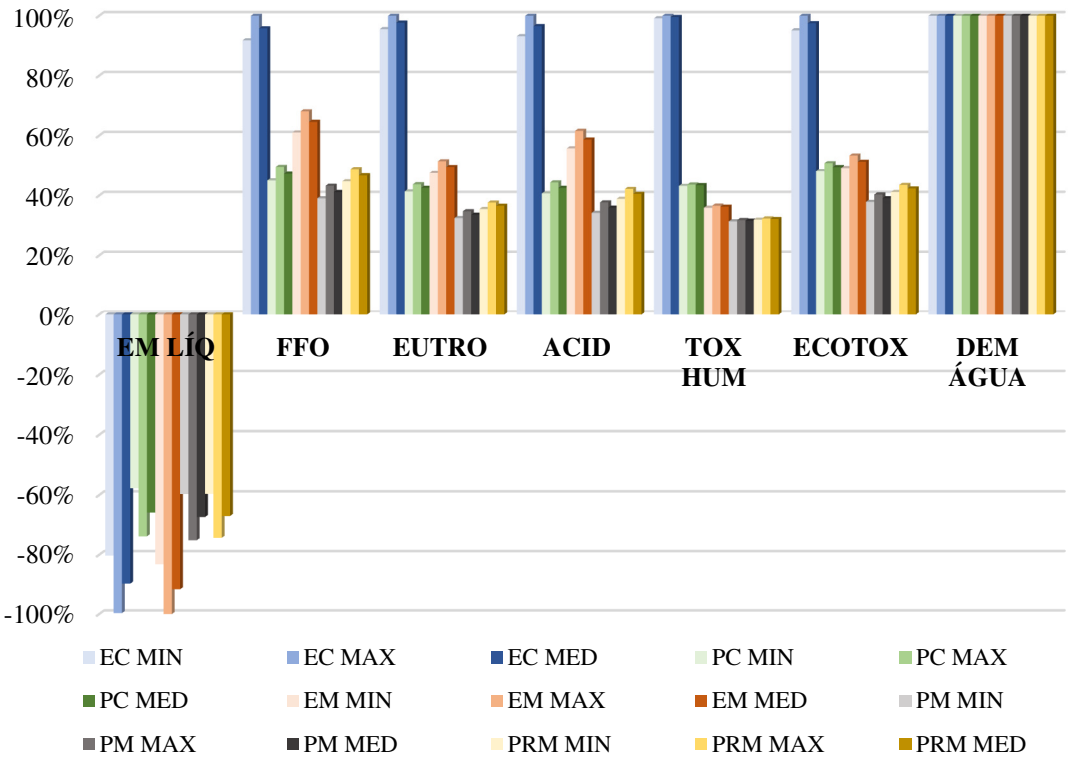
Fonte: Dados da pesquisa (2017).

No entanto, a variação da produtividade na fase agrícola não influencia o ranking dos sistemas quanto aos potenciais impactos ambientais, ou seja, há a prevalência de maior ou mesmo inferior. Assim, é possível fazer uma representação do desempenho de cada sistema a partir das produtividades médias de cada um (Figura 6), na qual os sistemas com menor impacto estão mais próximos do centro do gráfico.

Nota-se que o sistema de pinus para madeira (PM) possui o melhor desempenho para a maioria das categorias de impacto analisadas. As exceções são para a demanda por água, cujo desempenho de todos os sistemas é praticamente o mesmo e para as emissões líquidas. Nesta última categoria os valores são negativos para todos os sistemas, pois trata-se da quantidade de CO_2 sequestrado da atmosfera depois de descontadas as emissões, fazendo com que o de maior impacto seja o de melhor desempenho.

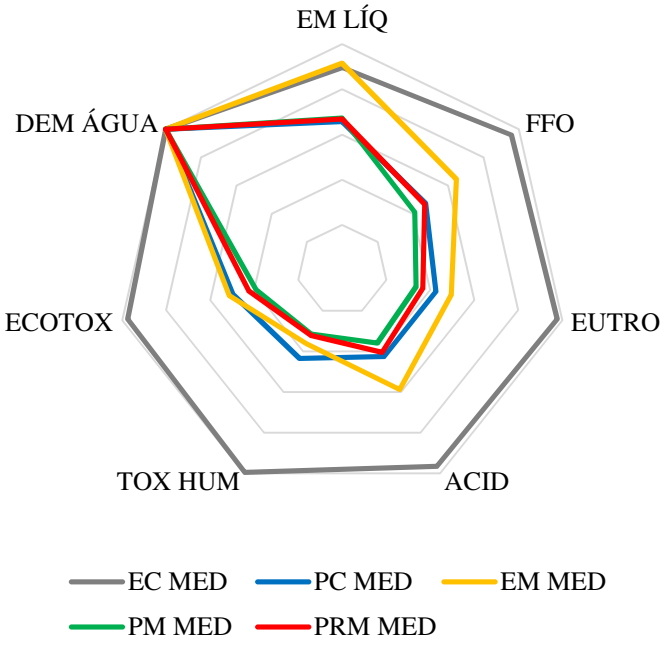
A demanda por água não varia significativamente entre os sistemas em função da unidade funcional (ha/ano), condições climáticas e Kc das espécies considerados serem os mesmos, conforme detalhado na seção anterior. Para estudos futuros que pretendam comparar sistemas florestais com base em unidade de produto, pode ser que sejam encontradas diferenças consideráveis nos desempenhos quanto a este indicador.

Figura 5 – Potenciais impactos ambientais da fase agrícola de um hectare por ano do ciclo de cada sistema, considerando variações na produtividade dos sistemas analisados.



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Figura 6 – Comparação dos potenciais impactos ambientais da fase agrícola de um hectare por ano do ciclo e ranking dos sistemas, considerando a produtividade média.



Agrícola Ambiental	
PM MAX	0,5787
PM MED	0,5772
PM MIN	0,5750
PRM MAX	0,5575
PRM MED	0,5562
PRM MIN	0,5544
PC MAX	0,5220
PC MED	0,5206
PC MIN	0,5189
EM MIN	0,5113
EM MED	0,5079
EM MAX	0,5047
EC MAX	0,2892
EC MED	0,2707
EC MIN	0,2525

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Como o potencial de aquecimento global é relativamente baixo em relação à quantidade de carbono sequestrada, esta última é determinante para o desempenho dos sistemas na categoria de emissões líquidas. A quantidade de carbono sequestrado resulta de importantes fatores como espécie, idade da floresta e práticas de manejo (CADEMUS *et al.* 2014; ÁLVAREZ; RUBIO, 2013; CHATTERJEE *et al.*, 2010; PÉREZ *et al.*, 2008; THOMAS; MALCZEWSKI; SAPRUNOFF, 2007).

Observa-se a influência da espécie quando se comparam os sistemas destinados à produção de maneira, cujo período de ciclo é o mesmo e para o qual o eucalipto se sobressai ao pinus (Tabelas 8). De acordo com os resultados, em média, um hectare de floresta de eucalipto manejado para fins comerciais sequestra aproximadamente 13 toneladas de CO_2 eq por ano, enquanto que a floresta de pinus sequestra 10 toneladas de CO_2 eq por hectare em um ano. Isto justifica-se pelo fato de que o eucalipto produz maior quantidade de biomassa em um mesmo período de tempo.

Também se observa a importância de ciclos maiores para um maior sequestro de CO_2, quando se analisam os sistemas da mesma espécie mas com finalidades distintas. Assim como a relevância de práticas de manejo que proporcionem maior produtividade dos sistemas para impactar positivamente na quantidade de carbono sequestrado. Como foram consideradas

variações em relação às médias de IMA de 30 m^3/ha/ano para o pinus e 35 m^3/ha/ano para o eucalipto, este último obteve o melhor desempenho, tanto com a finalidade de madeira, como de celulose.

No ranking estabelecido a partir da comparação dos potenciais impactos ambientais em um hectare por ano do ciclo de produção, todos com o mesmo peso, há um predomínio dos sistemas de pinus sobre os de eucalipto, independentemente da produtividade ou finalidade de produção. No entanto, como não há um sistema que tenha o melhor desempenho ambiental em todos os indicadores, cabe ressaltar que uma modificação no peso dos indicadores que compõem o critério ambiental poderia alterar o ranking dos sistemas e a consequente tomada de decisão.

Apesar de existirem similaridades quanto ao manejo, os sistemas simulados para o eucalipto possuem demandas superiores por fertilizantes e por diesel e óleos lubrificantes relativos ao transporte, sendo que estes últimos são proporcionalmente maiores nos sistemas para madeira, devido a maior produtividade. Como os dados também foram anualizados, o sistema de eucalipto para celulose foi de certa forma penalizado pelo fato de ter necessidades de preparo do solo e manejo idênticas ao sistema voltado para madeira, mas com período de ciclo inferior. No entanto, esta forma de comparar os sistemas é válida, pois enquanto que o sistema de pinus para celulose possui um ciclo de 15 anos, o de eucalipto possui dois ciclos completos no mesmo período. Dessa forma, mantém-se a coerência ao se compararem sistemas com produtividades e períodos de duração distintos.

Dias e Arroja (2012) também verificaram que, sob o mesmo regime de manejo, a produção de 1 m^3 ub (*under bark*) de pinus impacta menos do que o eucalipto na maioria dos critérios, por influência de um ciclo com duração superior, que implica diretamente em menor uso de máquinas, combustíveis fósseis e fertilizantes. Segundo os autores, esses insumos são relevantes principalmente para os impactos de aquecimento global, acidificação e eutrofização, o que corrobora os resultados obtidos neste estudo.

As atividades de desbastes e corte são as que menos contribuem para o potencial impacto ambiental, em todas as categorias analisadas (Figuras 7 a 12). Seria uma contradição com a literatura que aponta essa atividade como a mais impactante (MORALES *et al.*, 2015; GONZÁLES-GARCÍA *et al.*, 2014; DIAS; ARROJA, 2012), se não fosse pelo fato de que esses estudos não incluíram o transporte das toras de madeira até a indústria.

No entanto, Gonzáles-García *et al.*, (2009) chegaram a mesma conclusão, ao considerarem o transporte da propriedade rural até a indústria, distantes em 90km. Porém a

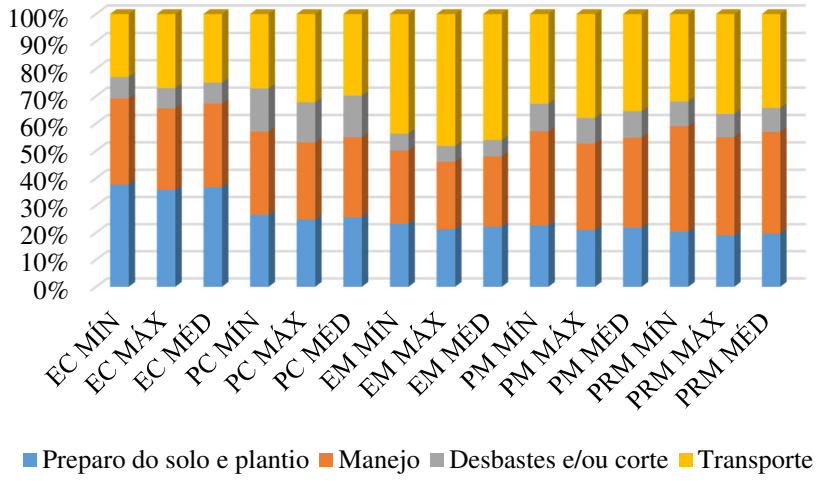
distância superior considerada nesta tese, de 230 km, podem ter gerado essa divergência. De todo modo, a razão pela qual o corte e o transporte são as atividades apontadas como pontos críticos na literatura e neste estudo é a mesma: a elevada demanda de combustíveis de origem fóssil.

Tabela 8 - Potenciais impactos ambientais por hectare e por ano de ciclo de produção da fase agrícola.

Sistemas	Emissões líquidas (t CO_2 eq)	Formação fotoquímica de ozônio (kg C_2H_4 eq)	Eutrofização (kg PO_4- eq)	Acidificação (kg SO_2 eq)	Toxicidade humana (CTUh)	Ecotoxicidade (CTUe)	Demanda por água (1000 x m^3)
EC							
MÍN	-11,79	0,10	0,41	1,92	7,30E-08	3,04	15,85
MÉD	-13,19	0,10	0,40	1,85	7,27E-08	2,96	15,85
MAX	-14,65	0,10	0,41	1,92	7,30E-08	3,04	15,85
PC							
MÍN	-8,48	0,05	0,17	0,78	3,16E-08	1,46	15,86
MÉD	-9,67	0,05	0,18	0,82	3,17E-08	1,50	15,87
MAX	-10,84	0,05	0,18	0,85	3,19E-08	1,54	15,87
EM							
MÍN	-12,23	0,06	0,20	1,07	2,62E-08	1,49	15,85
MÉD	-13,46	0,07	0,20	1,13	2,65E-08	1,56	15,85
MAX	-14,70	0,07	0,21	1,18	2,67E-08	1,62	15,85
PM							
MÍN	-8,76	0,04	0,13	0,66	2,29E-08	1,15	15,86
MÉD	-9,89	0,04	0,14	0,69	2,31E-08	1,19	15,86
MAX	-11,03	0,04	0,14	0,72	2,32E-08	1,23	15,87
PRM							
MÍN	-8,76	0,05	0,15	0,75	2,33E-08	1,25	15,86
MÉD	-9,84	0,05	0,15	0,78	2,35E-08	1,29	15,87
MAX	-10,92	0,05	0,16	0,81	2,36E-08	1,32	15,87

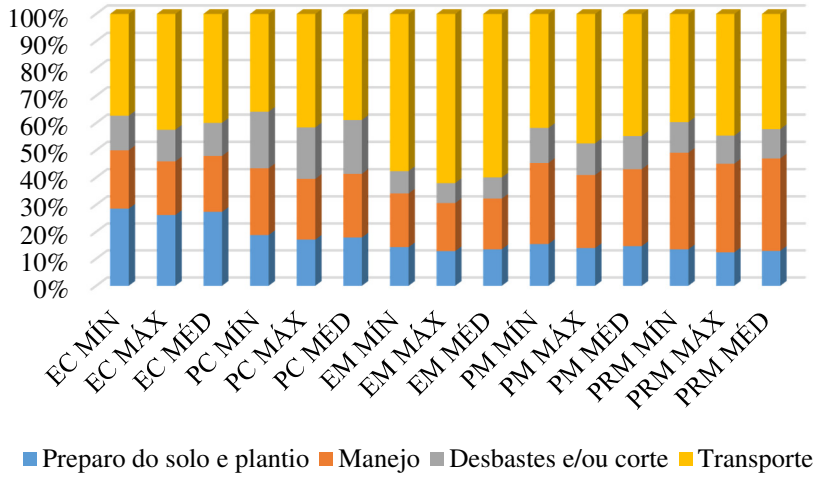
Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Figura 7 – Contribuição de cada atividade para a categoria aquecimento global (kg CO_2 eq).



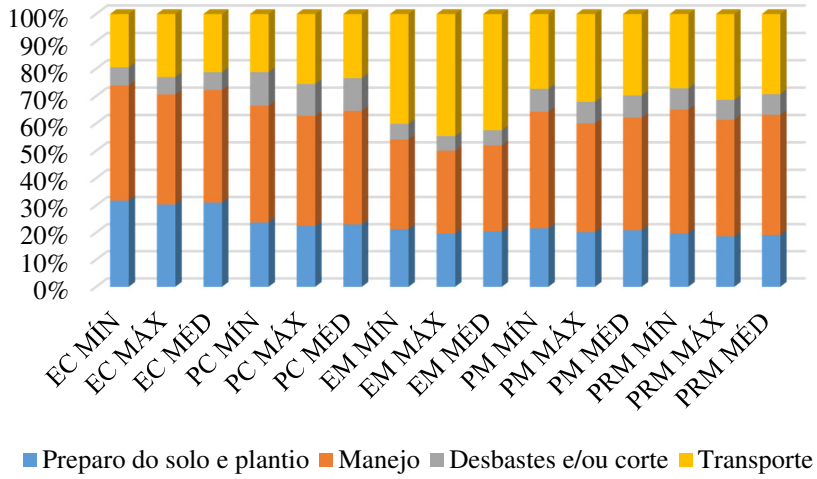
Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Figura 8 – Contribuição de cada atividade para a categoria formação fotoquímica de ozônio (kg C_2H_4 eq).



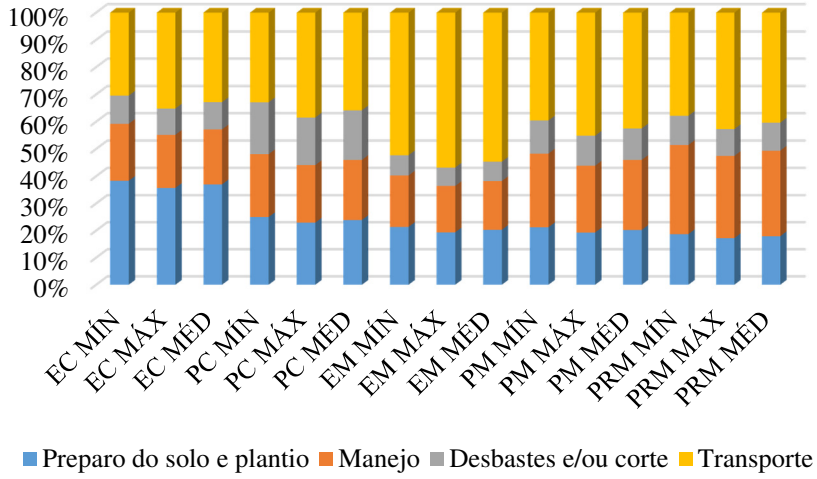
Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Figura 9 – Contribuição de cada atividade para a categoria eutrofização (kg PO_4-eq).



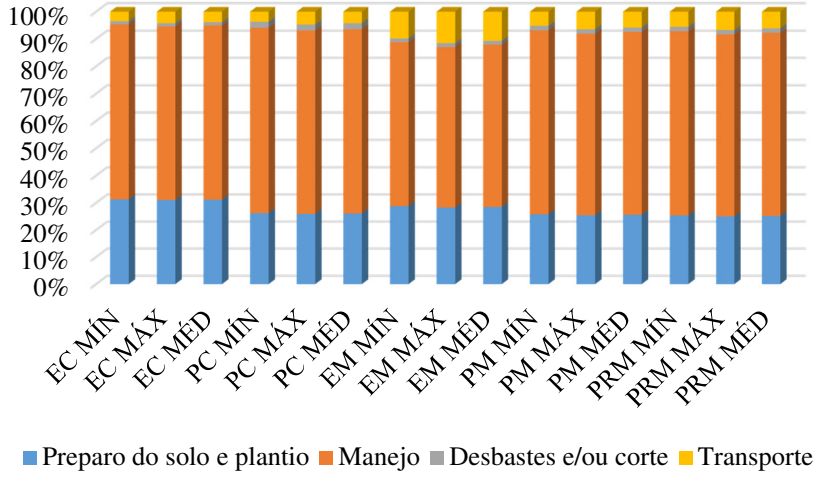
Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Figura 10 – Contribuição de cada atividade para a categoria acidificação (kg SO_2 eq).



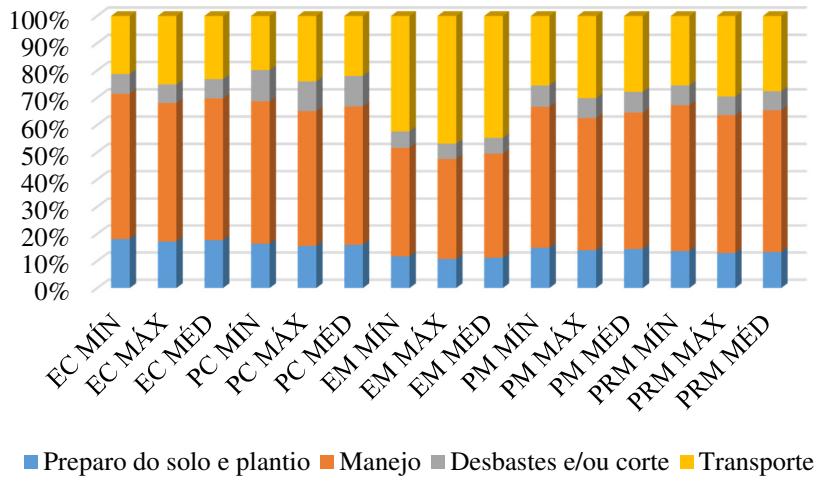
Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Figura 11 – Contribuição de cada atividade para a categoria toxicidade humana (CTUh).



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Figura 12 – Contribuição de cada atividade para a categoria ecotoxicidade (CTUe).



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Na média entre todos os sistemas, pode-se dizer que a atividade de transporte é a que mais contribui para a categoria de aquecimento global (34%), seguida das operações de manejo (31%). No entanto, isto se aplica somente para os sistemas destinados à produção de madeira e para o sistema de pinus para a produção de celulose. No sistema EC, as fases de preparo do solo e manejo são as maiores contribuintes do impacto total. A produtividade inferior deste sistema em comparação com os demais, relativamente a unidade funcional utilizada, são os fatores que explicam essa diferença.

A análise de sensibilidade quanto à produtividade dos sistemas influenciou unicamente a atividade de transporte. Em média, os potenciais impactos ambientais variaram em 24% em relação aos volumes de madeira mínimo e máximo produzidos. Esta proporção é bastante significativa, já que o transporte é a fase mais impactante nas categorias de formação fotoquímica de ozônio (45%), acidificação (41%) e aquecimento global (34%), em decorrência do uso de combustíveis fósseis. Já o manejo é o que mais influencia os potenciais impactos de eutrofização (40%), por conta da aplicação de fertilizantes, especialmente os que contém nitrogênio; toxicidade humana (65%) e ecotoxicidade (49%), devido às quantidades consideráveis de calcário e herbicida utilizados.

Diante dos resultados obtidos, nota-se que os insumos utilizados nas fases de transporte e manejo são os principais contribuintes das categorias de impactos analisadas, representando

os *hotspots* dos sistemas. A identificação destes pontos críticos possibilita indicar adequações nos sistemas visando melhorar o desempenho ambiental destes.

Os impactos ocasionados pelo transporte e boa parte dos gerados pelo manejo devem-se aos combustíveis fósseis utilizados pelos caminhões e máquinas. Nesse aspecto, uma alternativa mais amplamente discutida é o uso de biocombustíveis, mas algumas opções menos convencionais como o liquor negro gerado nas fábricas de celulose, lascas de madeira e resíduos florestais também podem ser exploradas (GONZÁLES-GARCÍA *et al.*, 2009).

O tipo de máquinas utilizado é outro fator relevante. Conforme observaram Barrantes *et al.* (2016), o uso do *forwarder* para o carregamento das toras, além de ter maior rendimento operacional, possibilita aumento de eficiência ambiental em todas as categorias, comparado ao trator agrícola. Igualmente no transporte, a otimização da atividade pelo uso de veículos de maior capacidade e, preferencialmente, com maior eficiência no uso de combustíveis é outra ação que pode ser investigada como forma de reduzir os potenciais impactos ambientais. Já no manejo, o principal ponto de atuação é o uso racional de fertilizantes (DIAS; ARROJA, 2012), além da reciclagem de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, excedentes da bovinocultura por exemplo, (COWLING; FURINESS, 2005), facilitada em sistemas de integração silvipastoris (FERRAZ; LIMA; RODRIGUES, 2013; STEWART *et al.*, 2011).

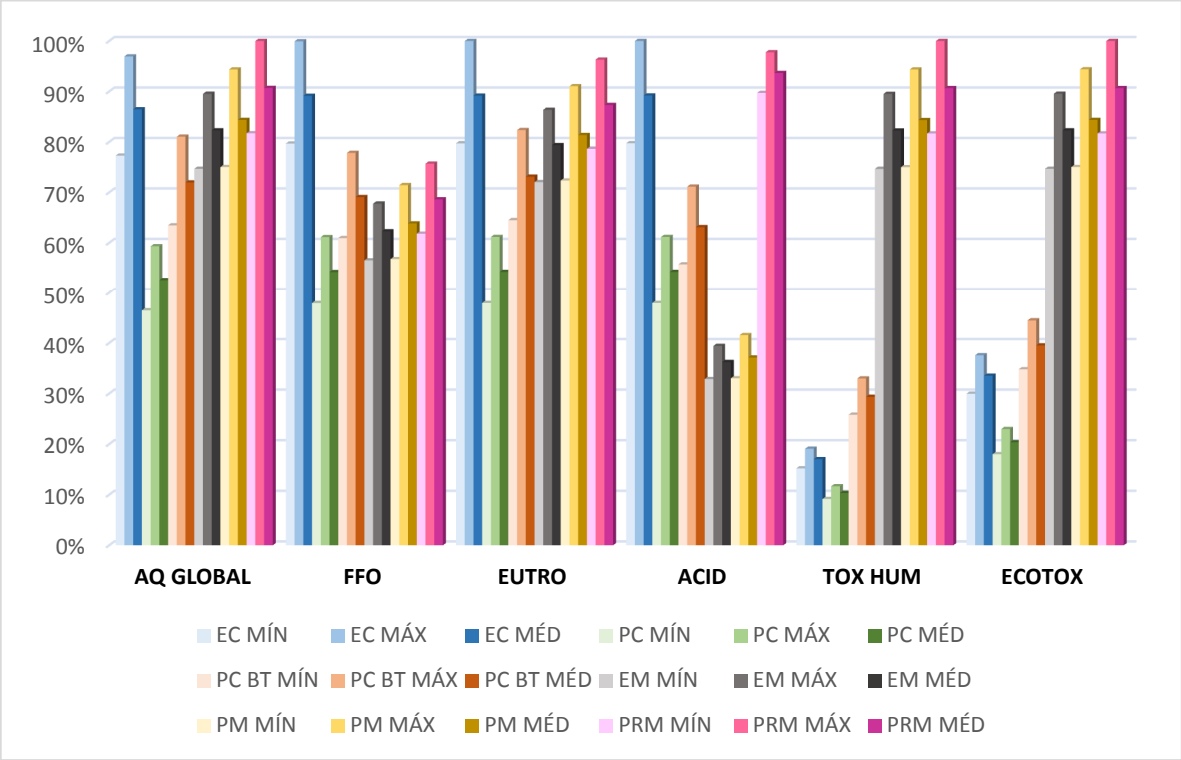
Ou seja, os pontos críticos para a melhoria do desempenho ambiental das atividades silviculturais, identificados por um método de avaliação de impactos, podem ser solucionados a partir de ações de simbiose industrial e da análise e gestão dos fluxos de nutrientes. Isto é uma demonstração prática de como o campo de estudos da Ecologia Industrial possui linhas de pesquisas que, se integradas, podem tornar o setor florestal mais ambientalmente eficiente. E como consequência, contribuir para que os agentes do setor sejam mais conscientes das consequências de suas ações sob uma perspectiva bioeconômica.

2.4 POTENCIAIS IMPACTOS AMBIENTAIS DA FASE INDUSTRIAL

A comparação entre os potenciais impactos ambientais da industrialização da produção média anual de 1 ha é apresentada na Figura 13. Pela análise isolada desta fase, o sistema industrial de produção de celulose a partir de pinus é o que possui melhor desempenho ambiental, independentemente da produtividade da fase agrícola (Figura 14). Por outro lado, a industrialização da produção anual de 1 hectare do sistema PRM, composta pela serraria e

indústria de breu e terebintina de forma agregada, teve o pior desempenho dentre todos os sistemas.

Figura 13 – Potenciais impactos ambientais do processamento industrial das matérias-primas produzidas em um hectare por ano de ciclo de produção agrícola.



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Figura 14 – Ranking dos sistemas pela análise da fase industrial de forma isolada.

	Industrial		
	Ambiental		
PC MÍN	0,6809	PM MÍN	0,4057
PC MÉD	0,6317	EC MÁX	0,3612
PC MÁX	0,5799	EM MÉD	0,3488
PC BT MÍN	0,5411	PM MÉD	0,3336
PC BT MÉD	0,4739	EM MÁX	0,2979
EC MÍN	0,4571	PM MÁX	0,2686
EM MÍN	0,4086	PRM MÍN	0,2436
PC BT MÁX	0,4069	PRM MÉD	0,1671
EC MÉD	0,4065	PRM MÁX	0,1056

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

O sistema de celulose a partir de eucalipto é mais impactante do que o a partir de pinus e em relação aos sistemas para madeira na maioria das categorias, pela duração do ciclo de produção e consumo específico de matéria-prima serem inferiores. Isto implica em maior quantidade de toneladas de celulose produzidas por ano a partir de um hectare do sistema EC, que demanda maior quantidade de insumos no processamento industrial. Este fato também explica porque os impactos dos sistemas de madeira serrada são próximos ou superiores aos de pinus celulose (PC e PC BT), pois possuem uma produção agrícola média anual superior e fator de conversão inferior, ou seja, resultam em quantidades superiores de produto final, decorrentes de um processo industrial mais impactante por hectare.

Os impactos dos sistemas de celulose devem-se em sua maioria ao maior consumo de óleo diesel e óleo BPF e os de madeira serrada ao consumo de energia elétrica. Dentre os sistemas de madeira serrada, destaca-se o PRM na categoria acidificação, devido ao uso de gasolina no processamento da goma-resina. Apesar de não terem sido obtidos outros dados relevantes para todos os processos industriais, como por exemplo, o uso de água ou de insumos químicos, o inventário ambiental da fase industrial foi composto pelos insumos mais críticos identificados em outros estudos.

O consumo de combustíveis fósseis, como diesel, gasolina e óleos combustíveis BPF (Baixo Ponto de Fluidez) e energia elétrica também foram os principais contribuintes dos potenciais impactos ambientais apontados na indústria de celulose (SILVA *et al.*, 2015) e na indústria de MDP (*Medium Density Particleboard*) (SILVA, 2012). Silva (2012) sugere a substituição de fontes fósseis de energia por biomassa e resíduos florestais, o que, dependendo da distância da floresta até a indústria, da quantidade necessária e da alocação dos impactos, pode reduzir os potenciais impactos ambientais da fase industrial.

A diferença resultante da variação na produtividade foi de, em média, 25% para os potenciais impactos ambientais das categorias avaliadas. Devido à unidade funcional utilizada, para o melhor desempenho de todos os sistemas na fase industrial, a prioridade é para as produtividades mínimas, uma vez que quanto menor a produtividade, menor será o uso de insumos responsáveis pelos potenciais impactos ambientais analisados. Desta forma, considerando o escopo da fase industrial, de forma isolada, com a unidade funcional de um hectare ao ano, prevalece o aspecto ambiental sobre o econômico. Isto demonstra como os estudos em bioeconomia podem apontar contrapontos que por vezes não seriam identificados em pesquisas que baseiam as análises por unidade de produto.

2.5 INTEGRAÇÃO DOS POTENCIAIS IMPACTOS AMBIENTAIS DAS FASES AGRÍCOLA E INDUSTRIAL

Quando integradas as fases agrícola e industrial, os sistemas de celulose de pinus (PC) e de celulose de pinus juntamente com a produção de breu e terebintina pelo processo *kraft* (PC BT) são os com os melhores desempenhos no critério ambiental (Tabela 10 e Figuras 15 e 16). O sistema de celulose de eucalipto teve o pior desempenho em relação à formação fotoquímica de ozônio, acidificação e ecotoxicidade, cujo desempenho nestas categorias de impacto se deve em média 71% à fase agrícola, mais negativamente impactante dentre todos os sistemas.

No entanto, este sistema, bem como o de madeira serrada de eucalipto têm o melhor desempenho quanto às emissões líquidas, pois o sequestro de CO_2 é positivamente influenciado pelo volume de biomassa produzido por essa espécie que, conforme discutido anteriormente, é superior ao do pinus. Porém, cabe ressaltar que todos os sistemas, mesmo após a integração da fase industrial, permaneceram tendo emissões negativas, ou seja, sequestrando mais CO_2 atmosférico do que emitindo gases de efeito estufa. Por essa razão as florestas são tão importantes para a mitigação de emissões e adaptação às mudanças climáticas: como sumidouros de carbono nas florestas e como estoques nos produtos florestais (FAO, 2016).

Os sistemas cuja a finalidade principal é a produção de madeira de pinus (PM e PRM) destacam-se em relação aos sistemas de celulose nas categorias de toxicidade humana e ecotoxicidade. Estes possuem potenciais impactos ambientais superiores nestas categorias, em média 70% devido à fase industrial, pois possuem menor fator de consumo específico e produzem maior volume de madeira que serve como matéria-prima da indústria, consequentemente, tornando seus impactos superiores.

Tabela 10 - Potenciais impactos da integração das fases agrícola e industrial da produção de 1 hectare em um ano (continua).

Sistemas		**Emissões líquidas (t CO_2 eq)**	**Formação fotoq. de ozônio (kg C_2H_4 eq)**	**Eutrofização (kg PO_4--- eq)**	**Acidificação (kg SO_2 eq)**	**Toxicidade humana (CTUh)**	**Ecotoxicidade (CTUe)**	**Demanda por água (1000 x m^3)**
EC	MÍN	-11,70	0,14	0,50	2,52	9,18E-08	4,10	15,85
	MED	-13,09	0,15	0,52	2,67	9,44E-08	4,32	15,85
	MAX	-14,54	0,16	0,54	2,84	9,74E-08	4,55	15,85
PC	MÍN	-8,43	0,08	0,23	1,22	4,32E-08	2,19	15,86
	MED	-9,61	0,08	0,25	1,31	4,49E-08	2,32	15,87
	MAX	-10,77	0,09	0,26	1,41	4,68E-08	2,47	15,87
PC BT	MÍN	-8,41	0,08	0,25	1,29	6,46E-08	2,87	15,86
	MED	-9,58	0,09	0,27	1,40	6,92E-08	3,10	15,87
	MAX	-10,75	0,10	0,29	1,50	7,41E-08	3,34	15,87
EM	MÍN	-12,14	0,10	0,29	1,07	1,22E-07	4,51	15,85
	MED	-13,37	0,10	0,31	1,13	1,32E-07	4,88	15,85
	MAX	-14,59	0,11	0,32	1,18	1,41E-07	5,23	15,85

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

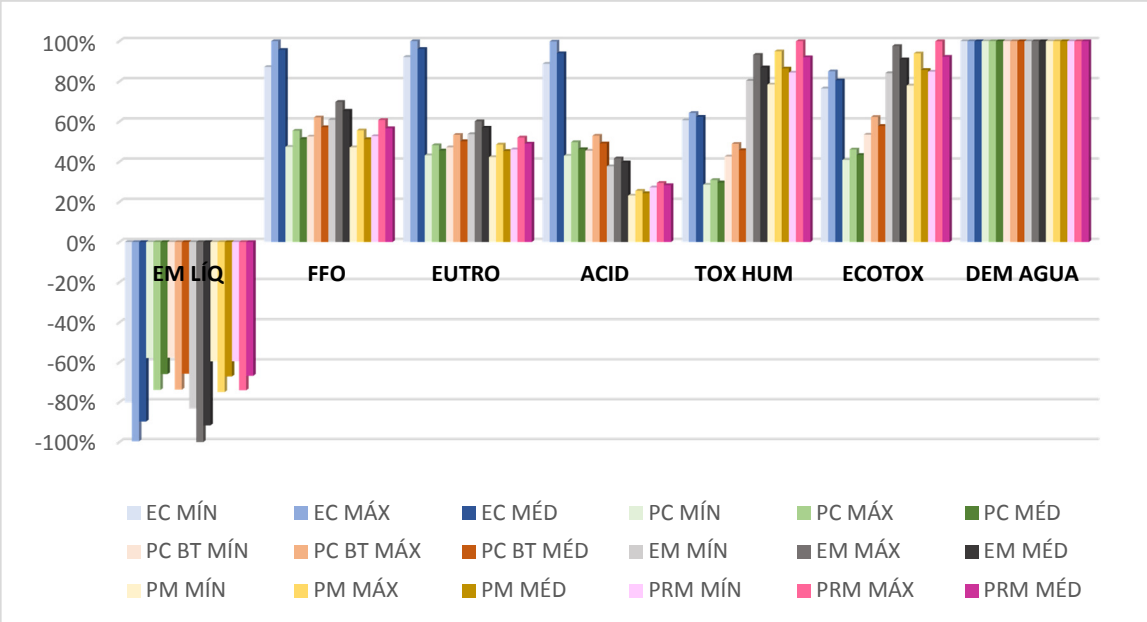
Tabela 10 - Potenciais impactos da integração das fases agrícola e industrial da produção de 1 hectare em um ano (continuação).

Sistemas	Emissões líquidas (t CO2 eq)	Formação fotoq. de ozônio (kg C2H4 eq)	Eutrofização (kg PO4--- eq)	Acidificação (kg SO2 eq)	Toxicidade humana (CTUh)	Ecotoxicidade (CTUe)	Demanda por água (1000 x m3)
PM							
MÍN	-8,67	0,08	0,23	0,66	1,19E-07	4,18	15,86
MED	-9,79	0,08	0,24	0,69	1,31E-07	4,59	15,86
MAX	-10,92	0,09	0,26	0,72	1,44E-07	5,03	15,87
PRM							
MÍN	-8,66	0,08	0,25	0,77	1,28E-07	4,55	15,86
MED	-9,73	0,09	0,26	0,80	1,39E-07	4,94	15,87
MAX	-10,80	0,10	0,28	0,84	1,52E-07	5,36	15,87

Notas:
a) Consumo específico para a conversão de matérias-primas florestais em produtos industrializados: 1 tonelada de celulose (3,66 m^3 de tora de eucalipto sem casca ou 5,26 m^3 de tora de pinus sem casca); 1 m^3 de madeira serrada (3,1 m3 de tora de eucalipto e 2,6 m^3 de tora de pinus). Fonte: Sociedade Brasileira de Silvicultura (2008).
b) Conversão de goma-resina em breu e terebentina: 1 tonelada de goma-resina de pinus tropicais é convertida em 70% de breu, 9% de terebentina e 21% de resíduos. Fonte: Remade (2017). Utilizou-se o critério de massa para alocação das emissões entre os produtos e adicionadas as emissões relativas aos resíduos também proporcionalmente à massa do breu e terebentina.
c) Conversão do processo kraft em breu e terebentina: 1 tonelada de tora de pinus é convertida em 95% de celulose, 1% de crude sulfate turpentine (CST) e 0,54% de tall oil rosin (TOR). Fonte: Cashman, Moran e Gaglione (2015). Considerou-se que a quantidade de celulose produzida correspondia a 95% da matéria-prima inicial, pois permite avaliar as emissões referentes à conversão de resíduos do processo kraft em produtos (breu e terebentina) e comparar com o sistema tradicional de celulose de pinus no qual os resíduos são reintroduzidos no processo industrial.

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Figura 15 – Integração dos potenciais impactos ambientais das fases agrícola e industrial de um hectare por ano.



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Figura 16 – Ranking dos sistemas pelo critério ambiental, considerando as fases agrícola e industrial.

Agrícola + Industrial			
Ambiental			
PC MÍN	0,5387	PRM MÍN	0,4257
PC MÉD	0,5322	PM MÁX	0,4233
PC MÁX	0,5241	EM MÉD	0,4161
PC BT MÍN	0,4881	PRM MÉD	0,4104
PC BT MÉD	0,4736	EM MÁX	0,4073
PC BT MÁX	0,4582	PRM MAX	0,3975
PM MÍN	0,4578	PRM MÁX	0,3253
PM MÉD	0,4399	EC MÉD	0,3182
EM MÍN	0,4287	EC MÍN	0,3168

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Não se pode afirmar que a fase agrícola ou a industrial necessariamente é a que mais impacta nos sistemas produtivos florestais, pois neste estudo, o nível de detalhamento do inventário ambiental da fase agrícola foi maior do que o industrial e a unidade funcional utilizada também pode influenciar na contribuição de cada fase, dependendo do sistema e espécie. Mas a informação sobre a contribuição de cada fase é útil para explicar os resultados encontrados.

Como implicação da unidade funcional utilizada, a variação na produtividade da fase agrícola pode impactar de 10 a 25% no resultado dos potenciais impactos ambientais da integração das fases agrícola e industrial (Tabela 11). Isso se justifica pelo fato de que, quanto maior a produção agrícola gerada, maior será a necessidade de processamento industrial, o que acarreta em maiores impactos ambientais negativos. Por isso, a inclusão da fase industrial fez com que a variação na produtividade nas fases agrícolas interferisse no ranking dos sistemas.

Tabela 11 – Análise de sensibilidade do resultado dos potenciais impactos ambientais dos sistemas de produção florestal, de acordo com a variação na produtividade.

Impacto integrado das fases agrícola e industrial da produção de 1 ha/ano	**Sensibilidade dos resultados**
Emissões líquidas (t CO_2 eq)	25%
Formação fotoquímica de ozônio (kg C_2H_4 eq)	16%
Eutrofização (kg PO_4--- eq)	17%
Acidificação (kg SO_2 eq)	12%
Toxicidade humana (CTUh)	16%
Ecotoxicidade (CTUe)	10%

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

3 IMPACTO ECONÔMICO

3.1 FASE AGRÍCOLA

O transporte é a atividade que mais impacta nos custos, representando em média 61% do custo total por hectare dos sistemas. Esta fase é diretamente influenciada pela produtividade, pois quanto maior esta for, tanto maior será o custo de transporte. Em seguida, os custos com corte (14%), aquisição de insumos (10%), compra e uso de maquinários (10%) e mão-de-obra (6%) são os mais onerosos. Exceto para o sistema PRM, por ser mais intensivo em mão-de-obra devido às operações de resinagem, a qual representa em média 38% do custo total do sistema durante todo o ciclo. O segundo custo mais relevante neste sistema é o de transporte (32%), seguido dos insumos (12%), mecanização (9%) e desbastes e corte (6%).

As receitas foram obtidas a partir do sortimento da produção de madeira dos sistemas para celulose, serraria, laminação e energia, de acordo com o resultado das simulações no SisPinus e SisEucalipto (Anexo 1). Os preços de referência utilizados são relacionados na Tabela 12.

Tabela 12 - Preços de referência utilizados para o cálculo das receitas de cada sistema.

Produto	**Finalidade**	**Preço**
Toras de eucalipto na indústria - diâmetro 18 - 25 cm (m^3)	Celulose	R$ 117,28
Toras de pinus na indústria - diâmetro 8 - 18 cm (m^3)	Celulose	R$ 74,14
Toras de pinus na indústria - diâmetro 18 - 25 cm (m^3)	Celulose	R$ 101,37
Toras de pinus na indústria - diâmetro 25 - 35 cm (m^3)	Celulose	R$ 127,60
Toras de pinus na indústria - diâmetro >35 cm (m^3)	Celulose	R$ 153,72
Toras de eucalipto na serraria - diâmetro 18 - 25 cm (m^3)	Serraria	R$ 101,38
Toras de eucalipto na serraria - diâmetro 25 - 35 cm (m^3)	Serraria	R$ 126,70
Toras de pinus na serraria - diâmetro 8 - 18 cm (m^3)	Serraria	R$ 78,09
Toras de pinus na serraria - diâmetro 18 - 25 cm (m^3)	Serraria	R$ 112,32
Toras de pinus na serraria - diâmetro 25 - 35 cm (m^3)	Serraria	R$ 144,83
Toras de pinus na serraria - diâmetro >35 cm (m^3)	Serraria	R$ 169,98
Toras de pinus na laminadora - diâmetro >35 cm (m^3)	Laminação	R$ 185,54
Lenha de eucalipto no carreador (m^3)	Energia	R$ 48,51
Lenha de pinus no carreador (m^3)	Energia	R$ 38,40
Goma-resina (tonelada)	Breu e terebentina	R$ 2.420,00

Notas: Como não foram obtidos os preços das toras para celulose que incluíssem o corte e transporte até a indústria, estes foram calculados tendo como base o preço divulgado pela SEAB-PR para toras vendidas em pé, acrescido do custo médio para corte e transporte obtido em cada sistema simulado, os quais foram de R$ 55,09 para eucalipto e R$ 34,44 para pinus. Fontes: Aresb para goma-resina (média de janeiro a junho/2017) e SEAB-PR para os produtos destinados à celulose, serraria, laminação e energia (maio/2017).

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A partir dos fluxos de caixa (Apêndice 7), foram calculados os Índices de Lucratividade Anual, simulando também as receitas advindas da comercialização de créditos de carbono (Tabela 13). O custo com mão-de-obra também foi utilizado como indicador econômico de geração de empregos diretos, a partir da anualização desse custo em cada sistema. Obtiveram-se os valores de R$ 84,31 para o sistema EC, R$ 68,77 para PC, R$ 129,35 para EM e R$ 907,35 para PRM.

Tabela 13 - Custos, receitas e Índice de Lucratividade Anualizado (ILA) de cada sistema, onde "CC" indica as receitas e ILA com a simulação de venda de créditos de carbono.

Sistemas		**Receitas (R$)**	**Custos (R$)**	**ILA (%)**	**Receitas CC (R$)**	**ILA CC (%)**
EC	MÍN	22.958,79	16.486,89	4,40	23.831,61	5,31
	MÉD	26.876,74	17.614,54	6,90	27.851,17	7,85
	MÁX	30.001,76	18.787,80	8,32	31.082,64	9,33
PC	MÍN	36.253,47	19.802,69	3,27	37.586,32	3,83
	MÉD	43.553,12	21.147,62	5,52	45.070,40	6,13
	MÁX	51.459,42	22.482,78	7,82	53.159,79	8,48
EM	MÍN	73.315,00	42.227,59	2,49	76.002,12	2,96
	MÉD	78.516,00	45.211,64	2,70	81.473,84	3,19
	MÁX	86.875,04	48.177,99	3,53	90.102,00	4,04
PM	MÍN	68.539,28	25.464,08	5,58	70.462,03	6,08
	MÉD	81.599,31	27.216,63	8,23	83.767,55	8,77
	MÁX	92.071,41	29.003,35	9,79	94.489,97	10,37
PRM	MÍN	123.755,98	48.015,50	8,50	125.680,13	8,79
	MÉD	134.185,91	49.699,71	9,53	136.345,83	9,85
	MÁX	145.035,37	51.379,03	10,59	147.430,29	10,94

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

O melhor resultado econômico na fase agrícola é obtido no sistema PRM, com o melhor desempenho em todos os indicadores e, por isso, seu valor no ranking é igual a um (Figura 17). Isto demonstra que a atividade de resinagem em plantio florestais de pinus incide em mais custos, no entanto, aumenta significativamente a lucratividade da propriedade, conforme também comprovaram Neves *et al.* (2001), além de contribuir mais com a geração de empregos e fixação do homem no campo. Em seguida, embora a produtividade influencie o ranking, os melhores sistemas são os de pinus para madeira e eucalipto para celulose.

Figura 17 - Ranking da fase agrícola dos sistemas com base no critério econômico.

Agrícola			
Econômico			
PRM MAX	1,0000		
PRM MED	0,9111	PM MIN	0,3681
PRM MIN	0,8282	PC MED	0,3563
PM MAX	0,5784	EC MIN	0,2944
EC MAX	0,5192	EM MAX	0,2221
PM MED	0,5183	PC MIN	0,1979
PC MAX	0,4853	EM MED	0,1578
EC MED	0,4502	EM MIN	0,1399

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

O índice de lucratividade anual variou de 2,49% a 10,59% considerando os mercados tradicionais de lenha, celulose, madeira para serraria e laminação e a comercialização de goma-resina, no caso do pinus. A comercialização de créditos de carbono representou um acréscimo no ILA em torno de 1% e 0,5% dos sistemas EC e EM, respectivamente. E para os sistemas PC e PM é em média de 0,5%. O incremento é menos relevante para o sistema PRM (0,3%) pois as receitas desse sistema são significativamente superiores aos demais. Cabe ressaltar que o preço utilizado para a simulação do mercado de créditos de carbono é uma média para as negociações do ano de 2016 (US$3.3/t), que é bem abaixo das maiores transações reportadas à Ecosystem Marketplace, de $44.8/t.

Estes dados indicam um mercado potencial que, se for explorado, trará resultados financeiros importantes para a silvicultura, especialmente nos sistemas de eucalipto. Estes beneficiariam-se mais por terem maior capacidade de sequestrar carbono e, com receitas inferiores aos sistemas de pinus, a representatividade da receita gerada pelos créditos de carbono é superior. Logo, o mercado de créditos de carbono pode alterar significativamente o desempenho econômico da silvicultura e ser determinante para adoção de práticas de manejo que visem maior sequestro de carbono (PIRARD; PETIT; BARAL, 2017; MATTHIES; KARIMOV, 2014; WICKE *et al.,* 2013; CHATTERJEE; MOONEY; VANCE 2010; DODD *et al.,* 2008), tendo como consequência direta a redução de potenciais impactos ambientais da atividade. Desse modo, a comercialização de créditos de carbono pode representar um incentivo via mercado para adoção de práticas mais alinhadas à bioeconomia, devendo ser, portanto, objeto da elaboração de políticas e mecanismos que facilitem estas transações.

Diante do resultados de todos os sistemas, é possível notar que, apesar de os retornos financeiros serem de longo prazo e dependentes das variações na produtividade das plantações, nos custos dos insumos e mão-de-obra e dos preços dos produtos comercializados, a silvicultura

é uma boa opção de geração de renda para os produtores rurais (PIRARD; PETIT; BARAL, 2017; DIAZ-BALTEIRO *et al.,* 2016; BUKENYA; JOHNSEN; GOMBYA-SSEMBAJJWE, 2009). Esta pode ser ainda uma atividade econômica mais vantajosa para o produtor rural em relação a outras atividades, como a bovinocultura.

Os ILAs obtidos para os sistemas agrícolas de florestas de pinus e eucalipto foram, na maioria dos casos, superiores aos identificados por Florindo *et al.* (2017) para a bovinocultura no sul do estado, onde o ILA foi de 1,55% no sistema extensivo e 3,51% no semi-intensivo. Estes dados reforçam a atratividade de investimentos florestais, especialmente para a região da Costa Leste do estado de Mato Grosso do Sul, onde pratica-se a bovinocultura, em geral, de forma extensiva e em pastagens degradadas, pois, nestas condições, o Valor Presente Líquido da atividade pode até ser negativo (SILVA *et al.*, 2017).

3.2 FASE INDUSTRIAL

Apesar do sortimento, para efeito de análise econômica dos sistemas na etapa industrial, considerou-se que toda a produção de 1 hectare foi destinada à finalidade principal de cada um, o que se justifica pelo fato de que, em geral, o maior sortimento destina-se ao objetivo principal do manejo da floresta. Como a análise econômica da fase industrial é composta por apenas um indicador, não trata-se de um problema multicritério, podendo então ser feito o ranqueamento por comparação direta dos valores obtidos.

O sistema que mais gera Valor Adicionado Bruto (VAB) pela industrialização das matérias-primas geradas por um hectare em um ano é a indústria de celulose de eucalipto (EC), seguida das indústrias de celulose pinus e produção de breu e terebintina kraft (PC BT) e de celulose de pinus somente (PC) (Tabela 14). Posteriormente, a serraria de pinus e a indústria de derivados da goma-resina, que geram maior valor econômico em relação às serrarias de pinus e de eucalipto. Analisando excluvisamente a produção de madeira serrada, a proveniente de eucalipto gera mais VAB, o que pode ser influenciado pela região na qual os preços foram coletados, onde esta madeira é mais valorizada no mercado.

Tabela 14 - Valor Adicionado Bruto (VAB) gerado pelos sistemas industriais durante o ciclo e por ano.

Sistemas industriais	Matéria-prima (m3)	Valor Matéria-prima (R$)	Produto final (PF)				Valor do Produto Final	Valor Adicionado Bruto (VAB) (R$)	VAB anual (R$)
			Celulose (t)	Mad. Serr. (m^3)	Breu (t)	Tereb. (t)			
EC									
MIN	217	25.485	59				125.652	100.167	14.310
MED	243	28.452	66				140.281	111.829	15.976
MAX	269	31.560	74				155.605	124.044	17.721
PC									
MIN	398	40.366	76				194.446	154.080	10.272
MED	453	45.951	86				221.438	175.487	11.699
MAX	508	51.496	97				248.062	196.566	13.104
PC BT									
MIN	398	40.366	76		0,43	0,8	200.766	160.401	10.693
MED	453	45.951	86		0,55	1,02	228.632	182.681	12.179
MAX	508	51.496	97		0,49	0,91	256.227	204.731	13.649
EM									
MIN	669	67.823		216			117.992	50.169	2.389
MED	736	74.656		238			129.880	55.223	2.630
MAX	803	81.449		259			141.696	60.248	2.869
PM									
MIN	564	81.641		217			110.093	28.452	1.355
MED	636	92.039		244			124.116	32.076	1.527
MAX	709	102.641		273			138.412	35.771	1.703
PRM									
MIN	566	81.901		218			110.444	28.543	1.359
MED	635	91.895		244			123.920	32.026	1.525
MAX	703	101.859		271			137.357	35.498	1.690
BT GR*	22,47**	54.377			16	2	92.566	38.189	1.819

Notas: (*) BT GR (indústria de derivados de breu e terebintina a partir de goma-resina). (**) Para BT GR a unidade é tonelada.

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

No entanto, quando se agregam as fases agrícola e industrial, o melhor sistema passa a ser a madeira serrada de pinus e a indústria de derivados de goma-resina (Figura 18). Já a madeira serrada de eucalipto é o sistema com pior desempenho. Logo, percebe-se a influência do escopo considerado quando se analisa o critério econômico para a tomada de decisão.

Figura 18 - Ranking dos sistemas integrados pela fase agrícola e industrial, de acordo com o critério econômico.

Agrícola + Industrial			
Econômico			
PRM MAX	0,8421	PC BT MED	0,4001
PRM MED	0,7788	PC MED	0,3927
PRM MIN	0,7106	EC MIN	0,3584
EC MAX	0,6837	PM MIN	0,2805
PC BT MAX	0,5961	PC BT MIN	0,2068
PC MAX	0,5892	PC MIN	0,2004
PM MAX	0,5813	EM MAX	0,1466
EC MED	0,5694	EM MED	0,0926
PM MED	0,4737	EM MIN	0,0785

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

4 TOMADA DE DECISÃO COM BASE EM MÉTODOS MULTICRITÉRIO

A comparação do uso da terra por florestas plantadas com fins produtivos teve bomo base os critérios ambiental e econômico. Utilizaram-se como indicadores para o critério ambiental: as emissões líquidas (da fase agrícola e das fases integradas) ou potencial de aquecimento global (para a fase industrial), formação fotoquímica de ozônio, acidificação, eutrofização, ecotoxicidade, toxicidade humana e demanda por água (exclusiva da fase agrícola). Já o critério econômico teve como indicadores o ILA, o ILA com a comercialização de créditos de carbono e os empregos diretos gerados (para a fase agrícola) e o VBA (para a fase industrial).

4.1 HIERARQUIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO FLORESTAL PELO MÉTODO TOPSIS

O algoritmo de tomada de decisão TOPSIS possibilitou criar um ranking dos sistemas com várias combinações de fase e critérios analisados, integrando a análise de sensibilidade para os volumes de produção. Esta ferramenta mostrou-se bastante útil para ilustrar a relevância

do escopo e critérios utilizados no estudo de sistemas agroindustriais e ampliar a aplicabilidade dos resultados gerados pelos métodos aplicados para a avaliação dos sistemas, em especial daqueles direcionados a impactos ambientais. Foram obtidos diversos rankings de acordo com cada combinação de fases e critérios e, embora os resultados não sejam os mesmos para as diferentes combinações, um conjunto de sistemas possuem os melhores desempenhos na maioria das condições, enquanto outros possuem os piores (Tabela 15).

Tabela 15 - Ranking dos sistemas com base no método multicritério TOPSIS.

Escopo	**Ranking**	**Critério(s)**		
		Ambiental	**Econômico**	**Ambiental + Econômico**
Agrícola	1º	PM	PRM	PRM
	2º	PRM	PM	PM
	3º	PC	EC	PC
	4º	EM	PC	EC
	5º	EC	EM	EM
Industrial	1º	PC	EC*	PC
	2º	PC BT	PC BT*	EC
	3º	EC	PC*	PC BT
	4º	EM	BT GR*	EM
	5º	PM	EM*	PM
	6º	PRM	PM*	PRM
	7º		PRM*	
Agrícola + Industrial	1º	PC	PRM	PC
	2º	PC BT	EC	PRM
	3º	PM	PC BT	PC BT
	4º	EM	PC	EC
	5º	PRM	PM	PM
	6º	EC	EM	EM

Nota: (*) Não é um problema multicritério, pois possui apenas um único indicador econômico da fase industrial.

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A partir da inserção da análise de sensibilidade nas variáveis do método multicritério, também foi possível esclarecer a influência da produtividade no desempenho dos sistemas, especialmente no critério ambiental. De acordo com os resultados deste estudo, pode-se afirmar que, em geral, para sistemas agroindustriais de base florestal, quanto maior a produtividade, melhor o desempenho dos sistemas nos critérios ambiental e econômico (Quadro 4).

Quadro 4 - Influência da produtividade no desempenho dos sistemas de acordo com o escopo e critério analisados.

Escopo	**Critério**		
	Ambiental	**Econômico**	**Ambiental + Econômico**
AGRÍCOLA	**Quanto MAIOR, melhor**	**Quanto MAIOR, melhor**	**Quanto MAIOR, melhor**
INDUSTRIAL	Quanto MENOR, melhor	**Quanto MAIOR, melhor**	Variável
AGRÍCOLA+INDUSTRIAL	Quanto MENOR, melhor	**Quanto MAIOR, melhor**	**Quanto MAIOR, melhor***

**Exceto para o sistema MAD EUCA, cujos valores obtidos para as produtividades mínima e média são bem próximas (0,3346 e 0,3342 respectivamente).*

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Na fase agrícola, uma produtividade elevada corresponde a um melhor desempenho nos indicadores ambientais. Mas quando considerada a fase industrial de forma isolada ou integrada à fase agrícola, a preferência passa a ser pelas produtividades inferiores para obter uma maior eficiência ambiental. Como esperado, para o critério econômico, em qualquer fase, quanto maior a produtividade mais interessante economicamente os sistemas são, independentemente do escopo.

Ao considerar conjuntamente os critérios ambiental e econômico na fase agrícola, observa-se que a produtividade é um fator determinante para aumentar a eficiência de todos os sistemas. No entanto, ao integrar a fase industrial, evidenciam-se *trade-offs* em relação aos desempenhos econômico e ambiental em um escopo ampliado. Logo, em uma perspectiva bioeconômica, quanto mais amplo o escopo e mais critérios considerados, maior a complexidade do processo de escolha do melhor sistema. Por isso recomenda-se a pesquisadores que visem a avaliação de sistemas agroindustriais para a tomada de decisão, que ponderem sobre a amplitude do escopo do estudo a inclusão da análise de sensibilidade em características dos sistemas consideradas críticas para o seu desempenho.

4.2 OTIMIZAÇÃO DO USO DA TERRA

A partir dos resultados da análise multicritério com o método TOPSIS concluiu-se que não há uma solução ideal para todos os critérios e em todos os escopos avaliados. Como o TOPSIS é um método não compensatório, mesmo o sistema classificado como o melhor em determinado ranking, em algum ou alguns indicadores pode ter um desempenho significativamente maior ou menor em relação aos demais com o qual é comparado. Desta

forma, a preferência dos tomadores de decisão representadas por pesos distintos aos indicadores julgados como mais relevantes, poderia modificar completamente o resultado do ranking.

Para lidar com esta questão, optou-se por simular a otimização do uso da terra pela inserção de restrições de eficiência de 20% e 30%, que significam que o(s) sistema(s) escolhido(s) devem possuir um desempenho no mínimo 20% e 30% superior ao sistema com pior desempenho em cada indicador, respectivamente. Além desta, também foram incluídas restrições de área para cada finalidade de produção, madeira e celulose, uma vez que existem demandas por produtos distintos que também precisam ser consideradas.

Primeiramente foi realizada uma otimização considerando apenas a fase agrícola e com pesos idênticos para os critérios ambiental e econômico (Quadro 5). Sem nenhuma restrição, o melhor sistema foi o de pinus para resinagem e madeira e, restringindo pela área somente, obteve-se como resultado os sistemas de pinus com três finalidades distintas: celulose, madeira e goma-resina. Porém, estes sistemas poderiam ser menos eficientes em determinados indicadores que podem ser considerados como críticos para os tomadores de decisão. Por exemplo, os sistemas de pinus são inferiores aos de eucalipto quanto às emissões líquidas. Ainda assim, ao adicionar a restrição de eficiência de 20%, manteve-se o sistema PRM como melhor opção.

Ao priorizar a distribuição da área para celulose ou para madeira, a opção é pelos sistemas de pinus para celulose e o de PRM para o suprimento principal de madeira. Aumentando a exigência por eficiência para 30%, insere-se uma pequena área de eucalipto para madeira, mas a principal porção de área é composta por PRM. Da mesma forma que para a outra restrição de eficiência, a inclusão de restrição de área não influencia no resultado, permanecendo PC e PRM como as principais soluções para o uso da terra.

Com base na otimização pela fase agrícola, concluiu-se que o pinus é a melhor espécie para a produção de celulose e madeira e ainda, produz goma-resina como coproduto do sistema manejado para madeira, que destina-se a um outro tipo de indústria, de alto valor agregado. Também é possível confirmar que, quanto maior a produtividade dos sistemas, mais otimizado será o uso da terra.

Quadro 5 – Otimização do uso da terra considerando critérios ambiental e econômico da fase agrícola dos sistemas analisados, com pesos idênticos.

FASE AGRÍCOLA PONDERAÇÃO 50% AMBIENTAL E 50% ECONÔMICO		
Restrições	**Resultado**	
	Sistema	**Área**
Sem restrições de eficiência ou de área	PRM MÁX	100%
Área de até 50% para celulose e até 50% para madeira	PC MÁX	50%
	PRM MÁX	50%
Área de até 70% para celulose e até 30% para madeira	PC MÁX	70%
	PRM MÁX	30%
Área de até 30% para celulose e até 70% para madeira	PC MÁX	30%
	PRM MÁX	70%
Eficiência de 20% superior em relação ao pior sistema	PRM MÁX	100%
Eficiência de 20% superior em relação ao pior sistema e área de até 50% para celulose e até 50% para madeira	PC MÁX	50%
	PRM MÁX	50%
Eficiência de 20% superior em relação ao pior sistema, área de até 70% para celulose e até 30% para madeira	PC MÁX	70%
	PRM MÁX	30%
Eficiência de 20% superior em relação ao pior sistema, área de até 30% para celulose e até 70% para madeira	PC MÁX	30%
	PRM MÁX	70%
Eficiência de 30% superior em relação ao pior sistema	EM MÁX	3%
	PRM MÁX	97%
Eficiência de 30% superior em relação ao pior sistema, área de até 50% para celulose e até 50% para madeira	EC MÁX	4%
	PC MÁX	46%
	PRM MÁX	50%
Eficiência de 30% superior em relação ao pior sistema, área de até 70% para celulose e até 30% para madeira	EC MÁX	4%
	PC MÁX	66%
	PRM MÁX	30%
Eficiência de 30% superior em relação ao pior sistema, área de até 30% para celulose e até 70% para madeira	EC MÁX	4%
	PC MÁX	26%
	PRM MÁX	70%

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A otimização do uso da terra pela integração das fases agrícola e industrial, utilizando novamente os mesmos pesos para os critérios ambiental e econômico, corroborou os resultados apresentados anteriormente (Quadro 6). Sem a inclusão de nenhuma restrição adicional, o sistema de pinus para produção de madeira e goma-resina foi a melhor solução. As restrições de área somente ou em conjunto com as restrição de eficiência de 20% também não afetam as opções selecionadas, permanecendo os sistemas de pinus manejados para a produção de madeira, breu, terebintina e celulose.

Quadro 6 – Otimização do uso da terra considerando critérios ambiental e econômico da integração das fases agrícola e industrial dos sistemas analisados, com pesos idênticos.

FASES AGRÍCOLA E INDUSTRIAL – PONDERAÇÃO 50% AMBIENTAL E 50% ECONÔMICO		
Restrições	**Resultado**	
	Sistema	**Área**
Sem restrições de eficiência ou de área	PRM MÁX	100%
Área de até 50% para celulose e até 50% para madeira	PC MÁX	50%
	PRM MÁX	50%
Área de até 70% para celulose e até 30% para madeira	PC MÁX	70%
	PRM MÁX	30%
Área de até 30% para celulose e até 70% para madeira	PC MÁX	30%
	PRM MÁX	70%
Eficiência de 20% superior em relação ao pior sistema	PC MÁX	20%
	PRM MÁX	80%
Eficiência de 20% superior em relação ao pior sistema, área de até 50% para celulose e até 50% para madeira	PC MÁX	50%
	PRM MÁX	50%
Eficiência de 20% superior em relação ao pior sistema, área de até 70% para celulose e até 30% para madeira	PC MÁX	70%
	PRM MÁX	30%
Eficiência de 20% superior em relação ao pior sistema, área de até 30% para celulose e até 70% para madeira	PC MÁX	30%
	PRM MÁX	70%
Eficiência de 30% superior em relação ao pior sistema	EC MÁX	3,72%
	PC MÁX	25,79%
	PRM MÁX	70,49%
Eficiência de 30% superior em relação ao pior sistema, área de até 50% para celulose e até 50% para madeira	EC MÁX	3,86%
	PC MÁX	46,14%
	PRM MÁX	50%
Eficiência de 30% superior em relação ao pior sistema, área de até 70% para celulose e até 30% para madeira	EC MÁX	4%
	PC MÁX	66%
	PRM MÁX	30%
Eficiência de 30% superior em relação ao pior sistema, área de até 30% para celulose e até 70% para madeira	EC MÁX	4%
	PC MÁX	26%
	PRM MÁX	70%

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Assim como na fase agrícola, a restrição de eficiência de 30% faz com que seja inserido o sistema de celulose de eucalipto, mas com pequena participação na área total. Mesmo com as restrições de áreas agregadas, os sistemas de pinus permanecem como as melhores opções para comporem o uso da terra.

De certa forma, o resultado desta otimização também confirmou o ranking gerado pelo TOPSIS, pois os dois primeiros sistemas foram o de celulose de pinus e o de pinus para madeira e breu e terebintina a partir de goma-resina, com pequena diferença nos valores obtidos em cada sistema. Mais uma vez, é possível afirmar que a otimização do uso da terra depende da maior eficiência dos sistemas em termos de produtividade.

A priorização do critério ambiental (Quadro 7) ou econômico (Quadro 8) , considerando da fase agrícola à industrial dos sistemas de produção florestal, também não altera as soluções encontradas para otimizar o uso da terra, nas diferentes condições de restrições. No entanto, percebe-se que ao ponderar mais o aspecto ambiental, o sistema que se destaca é o de pinus para celulose e o sistema de pinus para madeira, breu e terebintina é selecionado pela menor produtividade. Já quando o aspecto econômico é mais valorizado, este sistema é o que predomina nas soluções, que obviamente, favorece as produtividades máximas em todos os casos.

Quadro 7 – Otimização do uso da terra considerando critérios ambiental e econômico da integração das fases agrícola e industrial dos sistemas analisados, priorizando o critério ambiental.

FASES AGRÍCOLA E INDUSTRIAL – PONDERAÇÃO 70% AMBIENTAL E 30% ECONÔMICO		
Restrições	**Resultado**	
	Sistema	**Área**
Sem restrições de eficiência ou de área	PC MÁX	100%
Área de até 50% para celulose e até 50% para madeira	PC MÁX	50%
	PRM MÍN	50%
Área de até 70% para celulose e até 30% para madeira	PC MÁX	70%
	PRM MÍN	30%
Área de até 30% para celulose e até 70% para madeira	PC MÁX	30%
	PRM MÍN	70%
Eficiência de 20% superior em relação ao pior sistema	PC MÁX	98%
	PRM MÍN	2%
Eficiência de 20% superior em relação ao pior sistema, área de até 50% para celulose e até 50% para madeira	PC MÁX	50%
	PRM MÍN	15%
	PRM MÉD	35%
Eficiência de 20% superior em relação ao pior sistema, área de até 70% para celulose e até 30% para madeira	PC MÁX	70%
	PRM MÍN	30%
Eficiência de 20% superior em relação ao pior sistema, área de até 30% para celulose e até 70% para madeira	PC MÁX	30%
	PRM MÁX	4%
	PRM MÉD	66%
Eficiência de 30% superior em relação ao pior sistema	EC MÁX	4,18%
	PC MÁX	93,43%
	PRM MÁX	2,38%
Eficiência de 30% superior em relação ao pior sistema, área de até 50% para celulose e até 50% para madeira	EC MÁX	3,86%
	PC MÁX	46,14%
	PRM MÁX	50%

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Quadro 7 – Otimização do uso da terra considerando critérios ambiental e econômico da integração das fases agrícola e industrial dos sistemas analisados, priorizando o critério ambiental (continuação).

FASES AGRÍCOLA E INDUSTRIAL – PONDERAÇÃO 70% AMBIENTAL E 30% ECONÔMICO		
Restrições	**Resultado**	
	Sistema	**Área**
Eficiência de 30% superior em relação ao pior sistema, área de até 70% para celulose e até 30% para madeira	EC MÁX	4%
	PC MÁX	66%
	PRM MÁX	30%
Eficiência de 30% superior em relação ao pior sistema, área de até 30% para celulose e até 70% para madeira	EC MÁX	4%
	PC MÁX	26%
	PRM MÁX	70%

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Quadro 8 – Otimização do uso da terra considerando critérios ambiental e econômico da integração das fases agrícola e industrial dos sistemas analisados, priorizando o critério econômico (continua).

FASES AGRÍCOLA E INDUSTRIAL – PONDERAÇÃO 30% AMBIENTAL E 70% ECONÔMICO		
Restrições	**Resultado**	
	Sistema	**Área**
Sem restrições de eficiência ou de área	PRM MÁX	100%
Área de até 50% para celulose e até 50% para madeira	PC MÁX	50%
	PRM MÁX	50%
Área de até 70% para celulose e até 30% para madeira	PC MÁX	70%
	PRM MÁX	30%
Área de até 30% para celulose e até 70% para madeira	PC MÁX	30%
	PRM MÁX	70%
Eficiência de 20% superior em relação ao pior sistema	PC MÁX	19%
	PRM MÁX	81%
Eficiência de 20% superior em relação ao pior sistema, área de até 50% para celulose e até 50% para madeira	PC MÁX	50%
	PRM MÁX	50%
Eficiência de 20% superior em relação ao pior sistema, área de até 70% para celulose e até 30% para madeira	PC MÁX	70%
	PRM MÁX	30%
Eficiência de 20% superior em relação ao pior sistema, área de até 30% para celulose e até 70% para madeira	PC MÁX	30%
	PRM MÁX	70%
Eficiência de 30% superior em relação ao pior sistema	EC MÁX	3,72%
	PC MÁX	25,79%
	PRM MÁX	70,49%

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Quadro 8 – Otimização do uso da terra considerando critérios ambiental e econômico da integração das fases agrícola e industrial dos sistemas analisados, priorizando o critério econômico (continuação).

FASES AGRÍCOLA E INDUSTRIAL – PONDERAÇÃO 30% AMBIENTAL E 70% ECONÔMICO		
Restrições	**Resultado**	
	Sistema	**Área**
Eficiência de 30% superior em relação ao pior sistema, área de até 50% para celulose e até 50% para madeira	EC MÁX	3,86%
	PC MÁX	46,14%
	PRM MÁX	50%
Eficiência de 30% superior em relação ao pior sistema, área de até 70% para celulose e até 30% para madeira	EC MÁX	4%
	PC MÁX	66%
	PRM MÁX	30%
Eficiência de 30% superior em relação ao pior sistema, área de até 30% para celulose e até 70% para madeira	EC MÁX	4%
	PC MÁX	26%
	PRM MÁX	70%

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Admitindo-se que talvez não se atinja a produtividade máxima do pinus na região estudada, foi questionado se as soluções propostas pelos métodos de tomada de decisão multicritério permaneceriam as mesmas. Por isso, foram repetidas as simulações com todas as condições de restrição simuladas, para as diferentes ponderações dos critérios ambiental e econômico, mas desta vez, desconsiderando as produtividades máximas dos sistemas de pinus. Esta estratégia aproxima a tomada de decisão da realidade, já que plantios florestais de eucalipto na região atingem os 40m^3/ha/ano, considerado o valor máximo para o setor em nível nacional. Da mesma forma, amplia a confiabilidade da proposta de otimização do uso da terra, pretendida nesta tese.

Excluindo-se os sistemas de pinus com as produtividades máximas, as principais soluções continuam sendo PRM e PC (com produtividades médias), quando os pesos dos critérios ambiental e econômico são idênticos ou mesmo quando o ambiental é priorizado, com e sem restrição de área e com restrições de eficiência de até 20%. Quando a restrição de eficiência passa a ser de 30%, independentemente de haver restrição de área, o sistema EC com produtividade máxima passa a compor parte significativa da área a ser otimizada (24,98% a 26%), permanecendo PC MÉD e PRM MÉD na cesta de soluções. No entanto, quando priorizado o critério econômico, o sistema EC MÁX substitui PC MÉD em oito, das doze

condições de restrição. Nas demais, estes sistemas compõem a solução juntamente com o sistema PRM.

Isto significa que, independentemente da área alocada para cada finalidade de produção, os sistemas de pinus serão as melhores opções para otimizacao do uso da terra, mesmo que a restrição de eficiência seja de até 20% ou que seja priorizado o critério ambiental no desempenho. Se priorizado os impactos econômicos, o sistema de eucalipto para celulose será mais relevante na composição da área, como única opção para esta finalidade ou conjuntamente com o pinus, mas em maior proporção de área em relação a esta espécie.

Em 35 das 36 condições de restrição para otimizacao ignorando a produtividade máxima do pinus, o sistema PRM aparece como a única ou uma das soluções para atender o objetivo proposto. Ou seja, para a finalidade de celulose, dependendo das condições exigidas pelos tomadores de decisão e com uma produtividade média do pinus, a melhor opção para otimizar o uso da terra será a partir do eucalipto com produtividade em torno de 40 m^3/ha/ano e, em alguns casos, uma combinacao entre as duas espécies. Porém, quando a finalidade é a produção de madeira, a melhor opção dentre as condições simuladas é gerada pelos sistemas de pinus, com prioridade para o sistema que inclui a resinagem das árvores, independentemente da produtividade atingida com a espécie, dentro do limite de 25 a 35 m^3/ha/ano.

Conclui-se que o uso da terra com o eucalipto visando a produção de celulose gera importantes benefícios para comunidade local, especialmente econômicos. Porém, diante dos resultados apontados nesta tese, recomenda-se que se incentivem investimentos em serrarias e indústrias químicas baseadas em pinus. Trata-se de uma opção interessante para incrementar a indústria florestal já consolidada na região leste do estado de Mato Grosso do Sul, que pode proporcionar: incremento e diversificação da renda dos produtores rurais, minimizando seus riscos; geração de empregos no campo e na cidade; aumento da arrecadação de tributos para o governo; bem como outros reflexos positivos indiretos para comunidade local devido aos novos investimentos industriais.

Para a viabilização da resinagem em florestas de pinus, o aspecto fundamental a ser analisado é a mão-de-obra, pois a atividade é essencialmente manual e necessária durante todo o ano, tornando-se um dos maiores componentes dos custos de produção. Como em geral, os empregados são contratados individualmente pelo produtor rural ou empresa proprietária da floresta, seria interessante criar estratégias que reduzam os custos de contratação, favoreçam a continuidade da prestação dos serviços e tragam maior segurança jurídica para a relação empregatícia. A criação de empresas especializadas na prestação deste serviço ou de

cooperativas organizadas pelos trabalhadores rurais poderiam ser alternativas para a solução de problemas de mão-de-obra na resinagem.

Há um amplo potencial de expansão das florestas plantadas com fins produtivos em Mato Grosso do Sul, pois espécies como pinus e eucalipto são viáveis em solos sem aptidão agrícola ou mesmo em pastos em condições de degradação, que é o caso da região da Costa Leste do estado. Diversos estudos já demonstraram o potencial de plantios de pinus e eucalipto para a recuperação de áreas degradadas, não só ampliando seu o valor ecológico como também econômico (CHEN *et al.*, 2014; KNOKE *et al.*, 2014; TORO; GESSEL, 1999).

Com base em uma estimativa feita a partir dos dados mais recentes do IBGE (Insituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a região da Costa Leste de Mato Grosso do Sul possui em torno de 6 milhões de hectares de pastagens, com uma lotação média de 1,4 animais por hectare (Apêndice 8). Embora a lotação não reflita necessariamente a produtividade da bovinocultura da região, o estudo de Dias-Filho (2010), por exemplo, comprova que sistemas de média intensificação em pastagens recuperadas podem atingir 2,5 cabeças por hectare. Isto significa que há um potencial de expansão da área de florestas plantadas com fins produtivos, sem que se comprometa o atual número de rebanho na região. Esta expansão pode ser baseada, inclusive, em sistemas silvipastoris que possibilitem aumentar a produtividade da bovinocultura, seus resultados econômicos e ainda melhorar o seu desempenho ambiental.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

O uso da terra com o eucalipto e as indústrias supridas por este tipo de floresta podem oferecer importantes contribuições para o estado de Mato Grosso do Sul, especialmente sob o aspecto econômico. No entanto, os potenciais impactos ambientais e econômicos positivos dos sistemas produtivos florestais de pinus podem ser significativamente superiores.

Os resultados desta tese demonstraram que, ainda que não se atinja um alto IMA para o pinus visando a produção de celulose e madeira, estes sistemas seriam as melhores opções para otimizar o uso da terra, em comparação com o eucalipto. Exceto quando as restrições de eficiência sobre os desempenhos ambiental e econômico sejam de 30% ou quando priorizado o critério econômico. Mas em todas as condições simuladas para a tomada de decisão, a opção de pinus para madeira, breu e terebintina foi sempre a melhor solução indicada dentre os sistemas voltados à produção de madeira.

Com base nestes resultados, sugere-se aos produtores rurais, indústrias, governo e demais tomadores de decisão que avaliem as condições de mercado das indústrias baseadas em florestas plantadas de pinus com alternativa para expansão e diversificação da cadeia produtiva florestal sul-mato-grossense. O investimento em sistemas de produção florestal de pinus pode beneficiar produtores rurais, aumentando sua renda e minimizando seus riscos pela diversificação da atividade, gerar empregos, aumentar a arrecadação de tributos e outros reflexos positivos indiretos para comunidade local.

Demonstrou-se que a integração de métodos multicritério de tomada de decisão à Avaliação do Ciclo de Vida, Custeio do Ciclo de Vida e análise de indicadores financeiros e econômicos é muito útil para apoiar decisões complexas que levem à formulação e políticas públicas que visem a inserção do agronegócio em uma bioeconomia. Cabe ressaltar que a unidade funcional, o escopo, os critérios considerados, a ponderação dos indicadores e a análise de sensibilidade quanto a produtividade dos sistemas são questões importantes que podem influenciar o resultado dentre as alternativas avaliadas. Logo, pesquisadores e tomadores de decisão devem analisar cuidadosamente estes aspectos ao proporem soluções a um problema multicritério.

Outro ponto importante, é o detalhamento do inventário ambiental e econômico, que foi uma limitação deste estudo quanto à fase industrial. Estudos futuros poderiam incluir, além de um detalhamento maior do uso de insumos no processamento industrial (como por exemplo, água e produtos químicos), os custos e indicadores econômicos, como o número de empregos gerados, gastos com tributos e fornecedores locais, entre outros.

Por fim, são feitas algumas recomendações para melhorar o desempenho ambiental e econômico de sistemas produtivos florestais de pinus e eucalipto:

- Os combustíveis de origem fóssil são os insumos que mais contribuem para diferentes categorias de potenciais impactos ambientais. A substituição deste insumo por fontes de energia mais limpas e o uso de máquinas, equipamentos e veículos mais eficientes são as principais soluções indicadas para melhorar o desempenho ambiental do setor.
- O aumento da eficiência no transporte também colabora sinergicamente para aumentar o resultado financeiro, uma vez que esta operação também é a que mais impacta no custo total das atividades silviculturais na maioria dos sistemas avaliados. A comercialização de créditos de carbono é um outro mercado que, se explorado, representa uma oportunidade de obter resultados financeiros importantes para a silvicultura, especialmente nos sistemas de eucalipto.
- O cultivo de pinus visando a obtenção de madeira e goma-resina tem elevada exigência de mão-de-obra, tornando este componente o de maior custo. Ainda que a maior demanda por mão-de-obra onere em mais custos, a resinagem aumenta significativamente a lucratividade da propriedade, o que faz com que este sistema tenha o melhor desempenho econômico dentre todos os avaliados. Além dos resultados financeiros para o proprietário da floresta, a resinagem contribui mais com a geração de empregos e fixação do homem no campo, e por isso, é fundamental que se tenha condições que favoreçam a relação empregatícia ou mesmo a prestação deste serviço, para viabilizar esta atividade.
- Em sistemas produtivos florestais, quanto maior a produtividade na fase agrícola, melhor será o desempenho ambiental e econômico. Por essa razão, é crucial investir em materiais genéticos de qualidade, bem como na qualificação dos gestores e colaboradores para adoção de práticas de manejo planejadas e mais eficientes.

REFERÊNCIAS

AALDE H., et al. Forest Land. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Acesso em: 23 abr. 2017.

ACHTEN, W. M. J.; ACKER, K. EU. Average Impacts of Wheat Production: a meta-analysis of life cycle assessments. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 20, n. 1, p. 132-144, 2016.

ALLEN, R. G. et al. **Guidelines for computing crop water requeriments**. Rome: FAO, 1998. 308 p. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>. Acesso em: 17 maio 2017.

ALLENBY, B. The ontologies of industrial ecology? **Progress in Industrial Ecology: An International Journal**, Olney, v. 3, n. 1-2, p. 28-40, 2006.

ALMEIDA, A. C. et al. Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrid plantations in Brazil during a rotation for pulp production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 251, p.10-21, 2007.

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.

ALMEIDA, A. T. de. **O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio a decisão**. 2. ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2011.

ALMEIDA, D. H. et al. Determinação do teor de umidade e densidade básica para espécies de Pinus e Eucalipto. **Revista Científica Eletrônica da FAIT**, Itapeva, v. 1, p. 1-7, 2014. Disponível em: <http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/GJqhOS2OjOZ3IRW_2014-4-16-16-31-23.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2017.

ALMEIDA, J. et al. Carbon and water footprints and energy use of greenhouse tomato production in Northern Italy. **Journal of industrial ecology**, Olney, v. 18, n. 6, p. 898-908, 2014.

ALFARO, J.; MILLER, S. Applying industrial symbiosis to smallholder farms. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 18, n. 1, p. 145-154, 2014.

ÁLVAREZ, S.; RUBIO, A. Carbon baseline in a mixed pine-oak forest in the Juarez Mountain range (Oaxaca, Mexico) using the co2fix v.3.2 model. **Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente**, Chapingo, v. 19, n. 1, p. 125–137, 2013.

ALVES, M. E. B. et al. Estimate of the crop coefficient for Eucalyptus cultivated under irrigation during initial growth. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 2, p. 247-253, 2013.

ANTUNES, C.; ALVES, M. Programação linear multiobjetivo-métodos interativos e software. In: **Anais do Congreso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa**. Santiago do Chile: UC, 2012. p. 4725-4736.

AYRES, R. U.; SIMONIS, U. E (Ed). **Industrial metabolism:** restructuring for sustainable development. Tokyo: United Nations University Press, 1994. 376 p.

BARRANTES, L. D. S. et al. Avaliação do ciclo de vida da madeira de eucalipto para produção de energia no Brasil. In: Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida, 5., 2016, Fortaleza. **Anais**... Fortaleza: Associação Brasileira de Ciclo de Vida, 2016. p. 384-390.

BATIDZIRAI, B. et al. Optimization potential of biomass supply chains with torrefaction technology. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Hoboken, v. 8, n. 2, p. 253-282, 2014.

BENYON, R. et al. Tree water use in forestry compared to other dry-land agricultural crops in the Victorian context. **Ensis,** Canberra, 2007.

BI, J. et al. Quantifying phosphorus flow pathways through socioeconomic systems at the county level in China. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 17, n. 3, p. 452-460, 2013.

BHARATH, K. N.; BASAVARAJAPPA, S. Applications of biocomposite materials based on natural fibers from renewable resources: a review. **Science and Engineering of Composite Materials**, Berlin, v. 23, n. 2, p. 123-133, 2016.

BLISSETT, R. S.; ROWSON, N. A. A review of the multi-component utilisation of coal fly ash. **Fuel**, Amsterdã, v. 97, p. 1-23, 2012.

BNDES. **Programa ABC**. [2017]. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/programa-abc>. Acesso em: 16 jul. 2017.

BOXALL, P. C. et al. A comparison of stated preference methods for environmental valuation. **Ecological economics**, Amsterdã, v. 18, n. 3, p. 243-253, 1996.

BRANDÃO, M.; CLIFT, R.; BASSON, L. A life-cycle approach to characterising environmental and economic impacts of multifunctional land-use systems: an integrated assessment in the UK. **Sustainability**, Basel, v. 2, n. 12, p. 3747-3776, 2010.

BUKENYA, M.; JOHNSEN, F. H.; GOMBYA-SSEMBAJJWE, W. S. Environmental and exchange entitlements from Eucalyptus woodlots: the case of Mukono district in Uganda. **Forests, Trees and Livelihoods**, Montpellier, v. 19, n. 1, p. 3-17, 2009.

CADEMUS, R. et al. Analyzing trade-offs, synergies, and drivers among timber production, carbon sequestration, and water yield in Pinus elliotii forests in southeastern USA. **Forests**, Basel, v. 5, n. 6, p. 1409-1431, 2014.

CALDATO, S. L.; SCHUMACHER, V. M. O uso de água pelas plantações florestais-uma revisão. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, 2013.

CASHMAN, S. A.; MORAN, K. M.; GAGLIONE, A. G. Greenhouse gas and energy life cycle assessment of pine chemicals derived from crude tall oil and their substitutes. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 20, n. 5, p. 1108-1121, 2016.

CAZCARRO, I.; PAC, R. D.; SÁNCHEZ-CHÓLIZ, J. Water consumption based on a disaggregated social accounting matrix of Huesca (Spain). **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 14, n. 3, p. 496-511, 2010.

CELULOSE IRANI S.A. **Inventário corporativo de gases de efeitos estufa.** 2014. Disponível em: <http://www.irani.com.br/uploads/mediacenter/1be6641c02b41eabecd52134d2854b7a8b151f5b.pdf >. Acesso em: 15 mai. 2017.

CERÓN-PALMA, I. et al. Barriers and opportunities regarding the implementation of rooftop Eco.Greenhouses (RTEG) in mediterranean cities of Europe. **Journal of Urban Technology**, Abingdon, v. 19, n. 4, p. 87-103, 2012.

CHATTERJEE, A.; MOONEY, S.; VANCE, G. F. Comparisons of carbon pools and economic profitability for managed ponderosa pine stands in Wyoming, USA. **Journal of Forestry Research**, Berlin, v. 21, n. 4, p. 482-486, 2010.

CHEN, P.; MA, H. Using an industrial waste account to facilitate national level industrial symbioses by uncovering the waste exchange potential. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 19, n. 6, p. 950-962, 2015.

CHEN, Y. L. et al. Use of mycorrhizal fungi for forest plantations and minesite rehabilitation. In: **Mycorrhizal Fungi: use in sustainable agriculture and land restoration**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2014. p. 325-355.

CHERTOW, M.; PARK, J. Scholarship and practice in industrial symbiosis: 1989–2014. In: **Taking stock of industrial ecology**. Berlin: Springer International Publishing, 2016. p. 87-116.

CHOBTANG, J. et al. Appraisal of environmental profiles of pasture-based milk production: a case study of dairy farms in the Waikato region, New Zealand. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Berlin, v. 21, n. 3, p. 311-325, 2016.

CLIMATE-DATA. **Clima:** Ribas do Rio Pardo. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/location/43544/>. Acesso em: 03 maio 2017.

COMISSÃO EUROPEIA. **Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions**: innovating for sustainable growth: a bioeconomy for Europe, SWD (2012). Disponível em: <http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/official-strategy_en.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2017.

CORNWALL, W. The burning question. **Science**, Washington, v. 355, n. 6320, p. 18-21, 2017.

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, Londres, v. 387, n. 6630, p. 253-260, 1997.

COWLING, E. B.; FURINESS, C. S. Potentials for win-win alliances among animal agriculture and forest products industries: application of the principles of industrial ecology and sustainable development. **Science in China Series C: Life Sciences**, Berlin, v. 48, p. 697-709, 2005.

DALE, V. H. et al. Biofuels: implications for land use and biodiversity. Washington: Ecological Society of America, 2010.

DAYSTAR, J. et al. Environmental impacts of bioethanol using the NREL biochemical conversion route: multivariate analysis and single score results. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Hoboken, v. 9, n. 5, p. 484-500, 2015.

DEWICK, P.; FOSTER, C.; GREEN, K. Technological change and the environmental impacts of food production and consumption: The case of the UK yogurt industry. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 11, n. 3, p. 133-146, 2007.

DIAS, A. C.; ARROJA, L. Environmental impacts of eucalypt and maritime pine wood production in Portugal. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdã, v. 37, p. 368-376, 2012.

DIAZ-BALTEIRO, L. et al. Ranking of industrial forest plantations in terms of sustainability: a multicriteria approach. **Journal of Environmental Management**, Amsterdã, v. 180, p. 123-132, 2016.

DIAS-FILHO, M. B. Produção de bovinos a pasto na fronteira agrícola. In: Congresso Brasileiro de Zootecnia, 20., 2010, Palmas. **Anais das palestras.** Araguaiana: Universidade Federal de Tocantins, 2010. p. 131-145.

DODD, M. B. et al. Improving the economic and environmental performance of a New Zealand hill country farm catchment: short-term outcomes of land-use change. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Nova Zelandia, v. 51, n. 2, p. 155-169, 2008.

DODET, M.; COLLET, C. When should exotic forest plantation tree species be considered as an invasive threat and how should we treat them? **Biological Invasions**, Berlin, v. 14, n. 9, p. 1765-1778, 2012.

DWIVEDI, P. et al. Tracking economic and environmental indicators of exported wood pellets to the United Kingdom from the Southern United States: lessons for policy?. **BioEnergy Research**, Berlin, v. 9, n. 3, p. 907-916, 2016.

DYE, P. A review of changing perspectives on eucalyptus water-use in South Africa. **Forest ecology and management**, Amsterdã, v. 301, p. 51-57, 2013.

DYMOND, J. R. et al. Tradeoffs between soil, water, and carbon–a national scale analysis from New Zealand. **Journal of Environmental Management**, Amsterdã, v. 95, n. 1, p. 124-131, 2012.

ECOSYSTEM MARKETPLACE. **Raising Ambition State of the Voluntary Carbon Markets 2016**. [2017]. Disponível em: < http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_5242.pdf>. Acesso em: 25 set 2017.

EHRENFELD, J.; GERTLER, N. Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundborg. **Journal of industrial Ecology**, Olney, v. 1, n. 1, p. 67-79, 1997.

ELLISON, D, et al. Trees, forests and water: cool insights for a hot world. **Global Environmental Change**, Amsterdã, v. 43, p. 51-61, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Prognose de produção**. [2017]. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/eucalipto/arvore/CONT000h018teyx02wx7ha07d3364i7qs4y9.html >. Acesso em: 25 ago. 2017.

FACCO, A. G. **Modelagem e simulação geoespacial da variação dos componentes do balanço hídrico para plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado na bacia do rio doce, Minas Gerais.** 2004. 89 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **Forestry for a low-carbon future: Integrating forests and wood products in climate change strategies 2016**. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i5857e.pdf>. Acesso em: 19 out. 2016.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **Global Forest Resources Assessment 2005**. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/008/a0400e/a0400e00.htm>. Acesso em: 28 nov. 2016.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **Global Forest Resources Assessment 2010**. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2016.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **Global Forest Resources Assessment 2015**. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i4808e.pdf>. Acesso em: 15 out. 2016.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **State of the World's Forests 2016. Forests and agriculture: land-use challenges and opportunities**. Disponível em: <http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/State%20of%20the%20World%E2%80%99s%20Forests%202016.pdf>. Acesso em: 30 out. 2016.

FERNANDEZ-MENA, H.; NESME, T.; PELLERIN, S. Towards an Agro-Industrial Ecology: A review of nutrient flow modelling and assessment tools in agro-food systems at the local scale. **Science of the Total Environment**, Amsterdã, v. 543, p. 467-479, 2016.

FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; RODRIGUES, C. B. Managing forest plantation landscapes for water conservation. **Forest ecology and management**, Amsterdã, v. 301, p. 58-66, 2013.

FERREIRA, J. V. et al. Life cycle assessment of residual forestry biomass chips at a power plant: a Portuguese case study. **International Journal of Energy and Environmental Engineering**, Berlin, v. 5, n. 2-3, p. 86, 2014.

FIBRIA CELULOSE S.A. **Relatório Inventário de Gases de Efeito Estufa e Estimativa de Estoque de Carbono 2016**. Disponível em: <http://www.fibria.com.br/shared/midia/publicacoes/Carbon_Footprint_PT-BR_v2.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2017.

FFOLLIOTT, P. F.; THORUD, D. B. Water yield improvement by vegetation management. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, Hoboken, v. 13, n. 3, p. 563-572, 1977.

FLORINDO, T. J. et al. Carbon footprint and Life Cycle Costing of beef cattle in the Brazilian midwest. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdã, v. 147, p. 119-129, 2017.

FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, Londres, v. 478, n. 7369, p. 337-342, 2011.

FRANCO, A. L.; GALLI, O. C. Método para análise de investimentos: alternativa para classificação de projetos com prazo e volume de recursos diferentes. In: **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2007. Foz do Iguaçu: ENEGEP, 2007.

FROSCH, R. A.; GALLOPOULOS, N. E. Strategies for manufacturing. **Scientific American**, Estugarda, v. 261, n. 3, p. 144-152, 1989.

GARCÍA, C. A.; BETANCOURT, R.; CARDONA, C. A. Stand-alone and biorefinery pathways to produce hydrogen through gasification and dark fermentation using pinus patula. **Journal of Environmental Management**, Amsterdã, v. 203, p. 695-703, 2016.

GARNETT, T. et al. Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. **Science**, Washington, v. 341, n. 6141, p. 33-34, 2013.

GE, Lan et al. The nature of agroparks: synergy versus risk. **Agribusiness**, [New York], v. 27, n. 4, p. 509-523, 2011.

GEOPLANETA. Mapa dos municípios de Mato Grosso do Sul. Disponível em: <http://geoplanetaonline.blogspot.com.br/2015/08/mapa-dos-municipios-de-mato-grosso-do.html>. Acesso em: 18 abr. 2017.

GIANEZINI, M. et al. Comércio internacional de terras e seus reflexos na segurança alimentar dos países africanos. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, Passo Fundo, v. 19, n. 41, 2013.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia industrial:** conceitos, ferramentas e aplicações. São Paulo**:** Edgard Blucher**.** 2006.

GOEBEL, A. et al. People, values, and woodlands: a field report ofemergent themes in interdisciplinary research in Zimbabwe. **Agriculture and human values**, Berlin, v. 17, n. 4, p. 385-396, 2000.

GOLD, S.; KUNZ, N.; REINER, G. Sustainable global agrifood supply chains: exploring the barriers. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 21, n. 2, p. 249-260, 2017.

GOLDSTEIN, B. et al. Surveying the environmental footprint of urban food consumption. **Journal of Industrial Ecology**, Olney,v. 21, n. 1, p. 151-165, 2017.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S. et al. Divergences on the environmental impact associated to the production of maritime pine wood in Europe: French and Portuguese case studies. **Science of the Total Environment**, Amsterdã, v. 472, p. 324-337, 2014.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S. et al. Evaluation of forest operations in Spanish eucalypt plantations under a life cycle assessment perspective. **Scandinavian Journal of Forest Research**, Abingdon, v. 24, n. 2, p. 160-172, 2009.

GUINÉE, J.B. (Coord.). **Life Cycle Assessment: an operational guide to the ISO Standarts**. Holanda: Leiden University, maio 2001. Disponível em <http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/lca2/>. Acesso em: 15 ago 2017.
Link do google livros.

GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B. R. **Industrial Ecology**. Hoboken: Prentice Hall, 1995. 363 p.

GRAEDEL, T. E.; LIFSET, R. J. Industrial Ecology's First Decade. In: **Taking Stock of Industrial Ecology**. Guildford: Springer International Publishing, 2016. p. 3-20.

GRISON, K. et al. The physical perspective on the solid and molten states associated with the mechanical properties of eco-friendly HDPE/Pinus taeda wood-plastic composites. **Journal of Applied Polymer Science**, Nova Yorque, v. 133, n. 3, 2016.

HELLER, M. C.; KEOLEIAN, G. A. Greenhouse gas emission estimates of US dietary choices and food loss. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 19, n. 3, p. 391-401, 2015.

HOEKSTRA, A. Y. et al. **Water footprint manual: State of the art**. Londres: Earthscan, 2009. 228 p. Disponível em: <http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf >. Acesso em: 17 maio 2017.

HUANG, C. et al. Economic analyses of sequestering carbon in loblolly pine, cherrybark oak, and northern red oak in the United States. **Environmental Management**, Amsterdã, v. 33, n. 1, p. S187-S199, 2004.

HUANG, Z. et al. Response of runoff and soil loss to reforestation and rainfall type in red soil region of southern China. **Journal of Environmental Sciences**, Amsterdã, v. 22, n. 11, p. 1765-1773, 2010.

INDUFOR. **Strategic Review on the Future of Forest Plantations in the World 2012.** Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/42701-090e8a9fd4969cb334b2ae7957d7b1505.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Relatório Anual 2017. Disponível em: < http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2017.

INGRAO, C. et al. Agricultural and forest biomass for food, materials and energy: bio-economy as the cornerstone to cleaner production and more sustainable consumption patterns for accelerating the transition towards equitable, sustainable, post fossil-carbon societies. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdã, v. 30, p. 1-3, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA. **Censo agropecuário 2006: resultados preliminares**. IBGE, 2006. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf >. Acesso em: 18 maio 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION. (2006). **ISO 14044**: Environmental Management - Life Cycle Assessment – principles and framework. Geneva. 2006.

IRIARTE, A.; RIERADEVALL, J.; GABARRELL, X. Transition towards a more environmentally sustainable biodiesel in South America: the case of Chile. **Applied energy**, Amsterdã, v. 91, n. 1, p. 263-273, 2012.

JAGGER, P.; PENDER, J. The role of trees for sustainable management of less-favored lands: the case of eucalyptus in Ethiopia. **Forest Policy and Economics**, Amsterdã, v. 5, n. 1, p. 83-95, 2003.

JOHNSON, J. A. et al. Global agriculture and carbon trade-offs. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Waschington, v. 111, n. 34, p. 12342-12347, 2014.

JOURNAL OF INDUSTRIAL ECOLOGY. Overview. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/(ISSN)1530-9290/homepage/ProductInformation.html>. Acesso em: 17 nov. 2016.

KALMYKOVA, Y. et al. Pathways and management of phosphorus in urban areas. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 16, n. 6, p. 928-939, 2012.

KAMALI, F. P. et al. Sustainability assessment of agricultural systems: the validity of expert opinion and robustness of a multi-criteria analysis. **Agricultural Systems**, Amsterdã, v. 157, p. 118-128, 2017.

KASTNER, T.; ERB, K.; HABERL, H. Global human appropriation of net primary production for biomass consumption in the European Union, 1986–2007. **Journal of Industrial ecology**, Olney, v. 19, n. 5, p. 825-836, 2015.

KEIL, L. et al. Time-continuous phosphorus flows in the Indian Agri-Food Sector: long-term drivers and management options. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, 2017. (No prelo)

KERN, Manfred. Food, feed, fibre, fuel and industrial products of the future: challenges and opportunities: understanding the strategic potential of plant genetic engineering. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Nova Yorque, v. 188, n. 5, p. 291-305, 2002.

KLEIN, D. et al. 20 years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Berlin, v. 20, n. 4, p. 556-575, 2015.

KLEINSCHMIT, D. et al. Environmental concerns in political bioeconomy discourses. **International Forestry Review**, Craven Arms, v. 19, n. 1, p. 1, 2017.

KLOEPFFER, W. Life cycle sustainability assessment of products. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Berlin, v. 13, n. 2, p. 89, 2008.

KNOKE, T. et al. Afforestation or intense pasturing improve the ecological and economic value of abandoned tropical farmlands. **Nature communications**, Londres, v. 5, 2014.

KOVÁCS, A. J. Capacity and Efficiency in Small-to Medium-Sized Biodiesel Production Systems. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 16, n. 1, p. 153-162, 2012.

KRÖGER, M. The expansion of industrial tree plantations and dispossession in Brazil. **Development and Change**, Nova Yorque, v. 43, n. 4, p. 947-973, 2012.

KUSH, J. S. et al. Longleaf Pine: A Sustainable Approach for Increasing Terrestrial Carbon in the Southern United Stat es. **Environmental Management**, Amsterdã, v. 33, n. 1, p. S139-S147, 2004.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J. (Ed.). **Land-use and land-cover change**: local processes and global impacts. Nova Yorque: Springer Science & Business Media, 2008.

LANZA, R. **Hidrologia comparativa e perda de solo e água em bacias hidrográficas cultivadas com eucalipto e campo nativo com pastagem manejada**. 2015. 150 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

LAUNIAINEN, S. et al. Is the water footprint an appropriate tool for forestry and forest products: the Fennoscandian case. **Ambio**, Berlin, v. 43, n. 2, p. 244-256, 2014.

LORENTZ, K. A.; MINOGUE, P. J. Exotic eucalyptus plantations in the southeastern US: risk assessment, management and policy approaches. **Biological Invasions**, Berlin, v. 17, n. 6, p. 1581-1593, 2015.

MA, D. et al. The temporal evolution of anthropogenic phosphorus consumption in China and its environmental implications. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 17, n. 4, p. 566-577, 2013.

MANHIÇA, A. A.; ROCHA, M. P.; TIMOFEICZYK JUNIOR, R. Custos no Desdobro de Pinus spp. com Utilização de Modelos de Corte numa Serraria. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 3, p. 327-3335, 2013.

MATO GROSSO DO SUL, Governo do Estado de Mato Grosso do Sul. **Plano Estadual para o Desenvolvimento Sustentável de Florestas Plantadas.** Resumo Executivo. Campo Grande, 2009. 48 p.

MATO GROSSO DO SUL, Governo do Estado de Mato Grosso do Sul. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico – SEMADE. **Caderno Geoambiental**. Disponível em: <http://www.semade.ms.gov.br/caderno-geoambiental/>. Acesso em: 03 mai. 2017.

MATTHIES, B. D.; KARIMOV, A. A. Financial drivers of land use decisions: the case of smallholder woodlots in Amhara, Ethiopia. **Land Use Policy**, Amsterdã, v. 41, p. 474-483, 2014.

MIRABELLA, N.; CASTELLANI, V.; SALA, S. Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdã, v. 65, p. 28-41, 2014.

MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T. Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. **Journal of Polymers and the Environment**, Berlin, v. 10, n. 1, p. 19-26, 2002.

MONCADA, J. et al. Wood residue (pinus patula bark) as an alternative feedstock for producing ethanol and furfural in Colombia: experimental, techno-economic and environmental assessments. **Chemical Engineering Science**, Amsterdã, v. 140, p. 309-318, 2016.

MORALES, M. et al. Cradle-to-gate life cycle assessment of eucalyptus globulus short rotation plantations in Chile. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdã, v. 99, p. 239-249, 2015.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; SIMIONI, F. J.; DE OLIVEIRA, E. B. Importância e desempenho das florestas plantadas no contexto do agronegócio brasileiro. **Floresta**,Viçosa, v. 47, n. 1, p. 85-94, 2017.

MORRISSEY, J. P. et al. Exploitation of genetically modified inoculants for industrial ecology applications. **Antonie van Leeuwenhoek**, Berlin, v. 81, n. 1, p. 599-606, 2002.

MS FLORESTAL**. Informativo da Associação Sul-Mato-grossense de Produtores e Consumidores de Florestas Plantadas**. 2013. Disponível em: <http://www.reflore.com.br/_arquivos/diversos/revista-msflorestal-dez2013.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2017.

MUSTALAHTI, I. The responsive bioeconomy: the need for inclusion of citizens and environmental capability in the forest based bioeconomy. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdã, 2017. (No prelo)

NEVES. G. A. et al. **Análise econômico-financeira da exploração de pinus resinífero em pequenos módulos rurais**. 2001. 48 p. Monografia (MBA de especialização em Agribusiness) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Sorocaba, 2001.

Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/neves,ga.pdf >. Acesso em: 16 Out 2017.

NISKANEN, A. et al. Evaluation of the profitability of fast-growing tropical trees. **Acta Forestalia Fennica**, Vantaa, v. 241, p. 1-38, 1993.

NUHOFF-ISAKHANYAN, G. et al. Network structure in sustainable agro-industrial parks. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdã, v. 141, p. 1209-1220, 2017.

NÚÑEZ, M. et al. Assessing the environmental impact of water consumption by energy crops grown in Spain. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 17, n. 1, p. 90-102, 2013.

OENEMA, O.; TAMMINGA, S. Nitrogen in global animal production and management options for improving nitrogen use efficiency. **Science in China Series C: Life Sciences**, Berlin, v. 48, n. 2, p. 871-887, 2005.

OHLSTRÖM, M. et al. **New concepts for biofuels in transportation:** biomass-based methanol production and reduced emissions in advanced vehicles. Technical Research Centre of Finland, Finland, 2001. Disponível em: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2074.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2017.

OLIVEIRA, Y. M. M.; OLIVEIRA, E. B. **Plantações florestais:** geração de benefícios com baixo impacto ambiental. Embrapa**.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1076130/plantacoes-florestais-geracao-de-beneficios-com-baixo-impacto-ambiental >. Acesso em: 26 jun. 2017.

PELLETIER, N.; TYEDMERS, P. Life cycle assessment of frozen tilapia fillets from Indonesian lake-based and pond-based intensive aquaculture systems. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 14, n. 3, p. 467-481, 2010.

PÉREZ, S. et al. Energy potential of waste from 10 forest species in the North of Spain (Cantabria). **Bioresource technology**, Amsterdã, v. 99, n. 14, p. 6339-6345, 2008.

PIANOSI, F. et al. Sensitivity analysis of environmental models: A systematic review with practical workflow. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdã, v. 79, p. 214-232, 2016.

PINTO, L. F. G. et al. Growth, yield and system performance simulation of a sugarcane–eucalyptus interface in a sub-tropical region of Brazil. **Agriculture, ecosystems & environment**, Amsterdã, v. 105, n. 1-2, p. 77-86, 2005.

PIRARD, R.; PETIT, H.; BARAL, H. Local impacts of industrial tree plantations: an empirical analysis in Indonesia across plantation types. **Land Use Policy**, Amsterdã, v. 60, p. 242-253, 2017.

POMMIER, R. et al. Comparative environmental life cycle assessment of materials in wooden boat ecodesign. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Berlin, v. 21, n. 2, p. 265-275, 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIBAS DO RIO PARDO. Localização. Disponível em: <goo.gl/FczQh7 >. Acesso em: 03 mai. 2017.

PÜLZL, H.; KLEINSCHMIT, D.; ARTS, B. Bioeconomy–an emerging meta-discourse affecting forest discourses?. **Scandinavian Journal of Forest Research**, Abingdon, v. 29, n. 4, p. 386-393, 2014.

QUINN, J. M. et al. Integrated catchment management effects on flow, habitat, instream vegetation and macroinvertebrates in Waikato, New Zealand, hill-country streams. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, Nova Zelandia, v. 43, n. 3, p. 775-802, 2009.

RAGSDALE, C. T. **Modelagem e análise de decisão**. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

REEB, C. W. et al. Environmental LCA and financial analysis to evaluate the feasibility of bio-based sugar feedstock biomass supply globally: part 1. supply chain analysis. **BioResources**, Raleigh, v. 10, n. 4, p. 8098-8134, 2015.

RIEGER, F. A. et al. Water Erosion on an Oxisol under Integrated Crop-Forest Systems in a Transitional Area between the Amazon and Cerrado Biomes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 40, 2016.

RIFFELL, S. A. M. et al. A meta-analysis of bird and mammal response to short-rotation woody crops. **Gcb Bioenergy**, Hoboken, v. 3, n. 4, p. 313-321, 2011.

ROBERTS, S.; VERTESSY, R.; GRAYSON, R. Transpiration from *Eucalyptus sieberi* (L. Johnson) forests of different age. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 143, p. 153-161, 2001.

RODRIGUES-CORRÊA, K. C. S.; LIMA, J. C.; FETT-NETO, A. G. Pine oleoresin: tapping green chemicals, biofuels, food protection, and carbon sequestration from multipurpose trees. **Food and Energy Security**, Hoboken, v. 1, n. 2, p. 81-93, 2012.

ROSENBAUM, R. K. et al. USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Berlin, v. 13, n. 7, p. 532, 2008.

SAMPAIO, P. R. **Teoria, métodos e aplicações de otimização multiobjetivo**. 2011. 95 p. Tese (Doutorado) - Programa de mestrado em Ciência da Computação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SANYÉ-MENGUAL, E. et al. An environmental and economic life cycle assessment of rooftop greenhouse (RTG) implementation in Barcelona, Spain. Assessing new forms of urban agriculture from the greenhouse structure to the final product level. **The International journal of life cycle assessment**, Nova Yorque, v. 20, n. 3, p. 350-366, 2015.

SARAIVA, A. B. System boundary setting in life cycle assessment of biorefineries: a review. **International Journal of Environmental Science and Technology,** v. 14, n. 2, p. 435-452, 2017.

SCHMIDT, O.; PADEL, S.; LEVIDOW, L. The bio-economy concept and knowledge base in a public goods and farmer perspective. **Bio-based and Applied Economics**, Florença, v. 1, n. 1, p. 47-63, 2012.

SEMAGRO. Terra Boa – Programa Estadual de Recuperação de Pastagens Degradadas. Disponível em: <http://www.terraboa.semagro.ms.gov.br/>. Acesso em: 07 Out. 2017.

SERRANO, A. et al. Virtual Water Flows in the EU27: A Consumption-based Approach. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 20, n. 3, p. 547-558, 2016.

SHA, S. et al. Solar energy footprint of ethylene processes. **Ecological Engineering**, Amsterdã, v. 82, p. 15-25, 2015.

SILVA, D. A. L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. 2012. 207 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-31072012-121351/pt-br.php>. Acesso em: 2 ago. 2017.

SILVA, D. A. L. et al. Life cycle assessment of offset paper production in Brazil: hotspots and cleaner production alternatives. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdã, v. 93, p. 222-233, 2015.

SILVA, R. O. et al. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. **Agricultural Systems**, Amsterdã, v. 153, p. 201-211, 2017.

SIMBOLI, A.; TADDEO, R.; MORGANTE, A. The potential of industrial ecology in agri-food clusters (AFCs): a case study based on valorisation of auxiliary materials. **Ecological Economics**, Amsterdã, v. 111, p. 65-75, 2015.

SMITH P. et al. Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In**: Climate Change 2014 mitigation of climate change:** IPCC Working Group III Contribution to AR5. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing Eucalyptus plantation in Brazil. **Journal of Hydrology, Amsterdã,** v. 253, p. 130-147, 2001.

STEWART, H. T. L. et al. A case study of socio-economic returns from farm forestry and agriculture in south-east Australia during 1993–2007. **Forest Policy and Economics**, Amsterdã, v. 13, n. 5, p. 390-395, 2011.

SUBHADRA, B.; GRINSON-GEORGE. Algal biorefinery-based industry: an approach to address fuel and food insecurity for a carbon-smart world. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Londres, v. 91, n. 1, p. 2-13, 2011.

SUDECO. Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste. Disponível em: <http://www.sudeco.gov.br/perguntas-frequentes/-

/asset_publisher/6jD0Fawcpxjx/content/fundo-constitucional-de-financiamento-do-centro-oeste-fco?inheritRedirect=false>. Acesso em: 23 Ago. 2017.

SWANSTON, J. S.; NEWTON, A. C. Mixtures of UK wheat as an efficient and environmentally friendly source for bioethanol. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 9, n. 3, p. 109-126, 2005.

TEEB, U. **Mainstreaming the economics of nature:** a synthesis of the approach: conclusions and recommendations of TEEB. Geneva, 2010.

THOMAS, S. C.; MALCZEWSKI, G.; SAPRUNOFF, M. Assessing the potential of native tree species for carbon sequestration forestry in Northeast China. **Journal of environmental management**, Amsterdã, v. 85, n. 3, p. 663-671, 2007.

TORO, J.; GESSEL, S. P. Radiata pine plantations in Chile. In: **Planted Forests: Contributions to the Quest for Sustainable Societies**. Netherlands: Springer, 1999. p. 393-404.

TRAN, N. et al. Optimizing biofuel production: An economic analysis for selected biofuel feedstock production in Hawaii. **Biomass and bioenergy**, Amsterdã, v. 35, n. 5, p. 1756-1764, 2011.

TURNER, J. et al. Non-timber values from planted forests: recreation in Whakarewarewa forest. **New Zealand Journal of Forestry**, Londres, v. 55, n. 4, p. 24-31, 2011.

TZENG, G.; HUANG, J. **Multiple attribute decision making**: methods and applications. Boca Raton: CRC Press, 2011.

USETOX. **Official usetox 2.0 model and factors**. Disponível em: <http://www.usetox.org/>. Acesso em: 05 ago 2017.

VAN OEL, P. R.; HOEKSTRA, A. Y. Towards quantification of the water footprint of paper: a first estimate of its consumptive component. **Water resources management**, Berlin, v. 26, n. 3, p. 733-749, 2012.

VANCE, E. D. et al. Scientific basis for sustainable management of eucalyptus and populus as short-rotation woody crops in the US. **Forests**, Basel, v. 5, n. 5, p. 901-918, 2014.

VERTESSY, R. A.; WATSON, F. G. R.; O′ SULLIVAN, S. K. Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 143, p. 13-26, 2001.

VICTOR, A.; PULIDINDI, I. N.; GEDANKEN, A. Levulinic acid production from Cicer arietinum, cotton, Pinus radiata and sugarcane bagasse. **RSC Advances**, Cambridge, v. 4, n. 84, p. 44706-44711, 2014.

VILLALBA, G. et al. Global phosphorus flows in the industrial economy from a production perspective. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 12, n. 4, p. 557-569, 2008.

WARSHAY, B.; BROWN, J. J.; SGOURIDIS, S. Life cycle assessment of integrated seawater agriculture in the Arabian (Persian) Gulf as a potential food and aviation biofuel resource. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Berlin, v. 22, n. 7, p. 1017-1032, 2017.

WATANABE, M. D. B. et al. Hybrid input-output life cycle assessment of first-and second-generation ethanol production technologies in Brazil. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 20, n. 4, p. 764-774, 2016.

WEINZETTEL, J. et al. Affluence drives the global displacement of land use. **Global Environmental Change**, Amsterdã, v. 23, n. 2, p. 433-438, 2013.

WHITE, R. Preface. In: Allenby, W.; Richards, D. (Ed). **The greening of industrial ecosystems.** Washington: National Academy Press. 1994. p. 5-6.

WHITING, K.; CARMONA, L. G. Industrial Ecology opportunities between CHP and Arable Farming in Alloa, Scotland. **Tecnogestión**, Bogotá, v. 12, n. 1, 2016.

WICKE, B. et al. Biomass production in agroforestry and forestry systems on salt-affected soils in South Asia: exploration of the GHG balance and economic performance of three case studies. **Journal of environmental management**, Amsterdã, v. 127, p. 324-334, 2013.

WINJOBI, O. et al. Techno-economic assessment of the effect of torrefaction on fast pyrolysis of pine. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Hoboken, v. 10, n. 2, p. 117-128, 2016.

YING, Z. et al. Plantation development: Economic analysis of forest management in Fujian Province, China. **Forest policy and economics**, Amsterdã, v. 12, n. 3, p. 223-230, 2010.
YU, Y. et al. Global implications of china's future food consumption. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 20, n. 3, p. 593-602, 2016.

YUAN, Z. et al. Phosphorus flow analysis of the socioeconomic ecosystem of Shucheng County, China. **Ecological Applications**, Washington, v. 21, n. 7, p. 2822-2832, 2011.

ZHANG, L. et al. Crop planting structure optimization for water scarcity alleviation in China. **Journal of Industrial Ecology**, Olney, v. 20, n. 3, p. 435-445, 2016.

ZHANG, S.; BI, X. T.; CLIFT, R. Life cycle analysis of a biogas-centred integrated dairy farm-greenhouse system in British Columbia. **Process Safety and Environmental Protection**, Amsterdã, v. 93, p. 18-30, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Descrição do breu e terebentina.

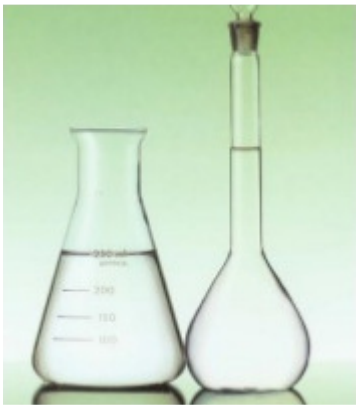
A seguir, é apresentada uma breve descrição dos derivados básicos obtidos a partir do processamento de goma-resina, de acordo com a Celulose Irani, empresa brasileira que atua nesta atividade.

BREU ou COLOFÔNIA

Fonte: ResinBraz (2017).

O breu é um sólido transparente de cor amarela, produzido a partir de secreções resinosas do pinho. É composto por ácido abiético (principal componente) e utilizado para aplicações de produtos como colas, adesivos, sabões, esmaltes, isolantes elétricos, goma de mascar, ceras e expectorantes.

TEREBINTINA



Fonte: ResinBraz (2017).

Terebintina é um líquido transparente com odor característico e gosto amargo. É usada como solvente em tintas e vernizes, fabricação de corantes, ceras, desinfetantes (óleo de pinho), cânfora, sabões, graxas inseticidas, vedantes, fixadores de perfume entre outros.

Fontes:

CELULOSE IRANI. Resina. Disponível em: <http://www.irani.com.br/pt/info/resina>. Acesso em: 04 dez. 2017.

RESINBRAZ. Resinagem 2014. Disponível em: < goo.gl/kFvfHA>. Acesso em: 04 dez. 2017.

APÊNDICE 2 – Descrição da fase agrícola dos sistemas de produção florestal.
(continua)

Sistema de produção EC – Eucalipto para celulose (1.300 árvores por hectare)

	Processo	Objetivo	Operação manual ou mecanizada
Preparo do solo e pré-plantio	Controle de formigas	Combate inicial (2 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	60 dias após o combate inicial - Controle de formigas	Repasse (2 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	Limpeza da área ser plantada	Remoção das árvores permitidas, troncos e raízes da pastagem degradada	Pá carregadeira acoplada ao trator
	Dessecação em área total	Controle de plantas daninhas com glifosato (3 litros por hectare)	Pulverizador em barra acoplado ao trator
	45 dias antes do plantio - Calagem	Aplicação de calcário dolomítico para suprir a demanda por Ca e Mg (2 toneladas por hectare)	Calcareadeira acoplada ao trator
	Gradagem	Incorporação do calcário no solo	Grade aradora acoplada ao trator
	Abertura de estradas e aceiros	Abertura de estradas e aceiros de divisa e entre plantio	Pá carregadeira acoplada ao trator
	Subsolagem	Abertura de covas para o plantio	Subsolador acoplado ao trator
Plantio	Plantio de mudas, adubação e retenção de água no plantio	Plantio de mudas, disponibilização de nutrientes para as mudas (300 kg de fertilizante 12-20-16 por hectare) e aplicação de polímero hidrogel (2,8 gramas por cova)	Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator
Manejo			
Ano 1	Replantio de mudas	Substituição de mudas mortas ou danificadas (10%)	Mão-de-obra
	1º mês - Controle de plantas daninhas	Controle de plantas daninhas invasoras com herbicida pré-emergente isoxaflutole (0,15 kilos por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	1º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	2º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	3º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	4º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	6º mês - Controle de plantas daninhas	Controle de plantas daninhas invasoras com aplicação em linha de herbicida pós-emergente glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	6º mês - Adubação de cobertura	Disponibilizar nutrientes necessários para o crescimento da planta (120 kilos do fertilizante 10-00-30 por hectare)	Adubadeira acoplada ao trator
	12º mês - Adubação de cobertura	Disponibilizar nutrientes necessários para o crescimento da planta (180 kilos fertilizante 10-00-30 por hectare)	Adubadeira acoplada ao trator
	12º mês - Controle de plantas daninhas	Controle de plantas daninhas invasoras com aplicação em linha de herbicida pós-emergente glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	12º mês - Manutenção de estradas e aceiros	Limpeza dos aceiros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
Ano 2	18º mês - Controle de formigas	Ronda (1,5 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	24º mês - Controle de formigas	Ronda (1,5 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	18º mês - Aplicação de fungicida	Duas aplicações com o intervalo de 14 dias, de 300 ml por hectare cada, de Priori Xtra para prevenção e controle de fungos.	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	18º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	24º mês - Manutenção de estradas e aceiros	Limpeza dos aceiros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
	24º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
Ano 3 a 7	Controle de formigas (duas vezes ao ano)	Ronda (3 kilos por hectare)	Mão-de-obra
	Manutenção de estradas e aceiros (anual)	Limpeza dos aceiros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
Colheita			
Ano 7	Corte raso	Corte e descasca das 1300 árvores	Harvester
	Baldeio e carregamento	Carregamento das toras	Forwarder
	Transporte	Transporte das toras para a indústria de celulose	Carreta 9 eixos, capacidade de 49 toneladas

APÊNDICE 2 – Descrição da fase agrícola dos sistemas de produção florestal. (continuação)

Sistema de produção EM – Eucalipto para madeira serrada (1.667 árvores por hectare)

	Processo	Objetivo	Operação manual ou mecanizada
Preparo do solo e pré-plantio	Controle de formigas	Combate inicial (2 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	60 dias após o combate inicial - Controle de formigas	Repasse (2 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	Limpeza da área degradada a ser plantada	Remover árvores permitidas, troncos e raízes da pastagem degradada	Pá carregadeira acoplada ao trator
	Dessecação em área total	Controle de plantas daninhas com glifosato (3 litros por hectare)	Pulverizador em barra acoplado ao trator
	45 dias antes do plantio - Calagem	Aplicação de calcário para corrigir a acidez do solo (2 toneladas por hectare)	Calcareadeira acoplada ao trator
	Gradagem	Incorporar o calcário no solo	Grade aradora acoplada ao trator
	Abertura de aceros	Abertura de acero de divisa e entre plantio	Pá carregadeira acoplada ao trator
	Subsolador	Abertura de covas para o plantio	Subsolador acoplado ao trator
	15 a 30 dias antes do plantio - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às mudas (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
Plantio	Plantio de mudas e adubação de plantio	Plantio de mudas e disponibilização de nutrientes para as mudas (300 kg de fertilizante 12-20-16 por hectare)	Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator
Manejo			
Ano 1	Replantio de mudas	Substituição de mudas mortas ou danificadas (10%)	Mão-de-obra
	1º mês - Aplicação de herbicida pré-emergente	Controlar plantas daninhas invasoras com herbicida seletivo isoxaflutole (0,15 kilos por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	1º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	2º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	3º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	6º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	6º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	6º mês - Adubação de cobertura	Disponibilizar nutrientes necessários para o crescimento da planta (120 kilos do fertilizante 10-00-30 por hectare)	Adubadeira acoplada ao trator
	12º mês - Adubação de cobertura	Disponibilizar nutrientes necessários para o crescimento da planta (180 kilos fertilizante 10-00-30 por hectare)	Adubadeira acoplada ao trator
	12º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	12º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	12º mês - Manutenção de aceros	Limpar aceros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
	Desrama	Remover ramos até cerca de 50% da altura da copas, em torno de 3 metros de altura, das 850 melhores árvores por hectare	Motopoda
Ano 2	18º mês - Aplicação de fungicida	Duas aplicações com o intervalo de 14 dias, de 300 ml por hectare cada, de Priori Xtra para prevenção e controle de fungos.	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	18º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	24º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	24º mês - Manutenção de aceros	Limpar aceros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
	24º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	Desrama	Remover ramos até cerca de 6 metros de altura das 500 melhores árvores por hectare	Motopoda

APÊNDICE 2 – Descrição da fase agrícola dos sistemas de produção florestal. (continuação)

Ano 3	30º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	36º mês - Calagem	Aplicação de 2 toneladas de calcário para corrigir a acidez do solo	Calcareadeira acoplada ao trator
	36º mês - Gradagem	Incorporar o calcário e fertilizante no solo e podar raízes das plantas	Grade aradora acoplada ao trator
	36º mês - Adubação de cobertura	Aplicação de 90 quilos de cloreto de potássio	Adubadeira acoplada ao trator
	36º mês - Manutenção de aceros	Limpar aceros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
	36º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	36º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	Desrama	Remover ramos até cerca de 9 metros de altura das 250 melhores árvores por hectare	Motopoda
Ano 4	42º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	48º mês - Manutenção de aceros	Limpar aceros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
	48º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	48º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
Ano 5	54º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	60º mês - Manutenção de aceros	Limpar aceros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
	60º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	60º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
Ano 6 a 20	Manutenção de aceros (anual)	Limpar aceros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira
	Controle de formigas (anual)	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	Controle de plantas daninhas (a cada 6º mês)	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
Ano 7	Desbaste	Corte e descasca de aprox. 667 árvores	Harvester
	Baldeio e carregamento	Colheita dos troncos cortados e transporte para o carregador	Forwarder
	Transporte	Transportar as toras para a indústria (aprox. 85,8 m³)	Carreta 9 eixos, capacidade de 49 toneladas
Ano 14	Desbaste	Corte e descasca de aprox. 400 árvores	Harvester
	Baldeio e carregamento	Colheita dos troncos cortados e transporte para o carregador	Forwarder
	Transporte	Transportar as toras para a indústria (aprox. 119,4 m³)	Carreta 9 eixos, capacidade de 49 toneladas
Colheita			
Ano 21	Corte raso	Corte de aprox. 600 árvores	Harvester (Feller Buncher)
	Baldeio e carregamento	Colheita dos troncos cortados e transporte para o carregador	Forwarder
	Transporte	Transportar as toras para a indústria (aprox. 366,1 m³)	Carreta 9 eixos, capacidade de 49 toneladas

APÊNDICE 2 – Descrição da fase agrícola dos sistemas de produção florestal. (continuação)

Sistema de produção PC – Pinus para celulose (2.222 árvores por hectare)

	Processo	Objetivo	Operação manual ou mecanizada
Preparo do solo e pré-plantio	Controle de formigas	Combate inicial (2 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	60 dias após o combate inicial - Controle de formigas	Repasse (2 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	Limpeza da área degradada a ser plantada	Remover árvores permitidas, troncos e raízes da pastagem degradada	Pá carregadeira acoplada ao trator
	Dessecação em área total	Controle de plantas daninhas com glifosato (3 litros por hectare)	Pulverizador em barra acoplado ao trator
	45 dias antes do plantio - Calagem	Aplicação de calcário para corrigir a acidez do solo (1,5 toneladas por hectare)	Calcareadeira acoplada ao trator
	Gradagem	Incorporar o calcário no solo	Grade aradora acoplada ao trator
	Abertura de aceros	Abertura de acero de divisa e entre plantio	Pá carregadeira acoplada ao trator
	Subsolador	Abertura de covas para o plantio	Subsolador acoplado ao trator
	15 a 30 dias antes do plantio - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às mudas (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
Plantio	Plantio de mudas e adubação de plantio	Plantio de mudas e disponibilização de nutrientes para as mudas (150 kilos de fertilizante 12-20-22 por hectare)	Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator
Manejo			
Ano 1	Replantio de mudas	Substituição de mudas mortas ou danificadas (10%)	Mão-de-obra
	1º mês - Aplicação de herbicida pré-emergente	Controlar plantas daninhas invasoras com herbicida seletivo isoxaflutole (0,15 kilos por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	1º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas (1 kilo de sulfuramida por há)	Mão-de-obra
	2º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas (1 kilo de sulfuramida por há)	Mão-de-obra
	3º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas (1 kilo de sulfuramida por há)	Mão-de-obra
	6º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas (1 kilo de sulfuramida por há)	Mão-de-obra
	6º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	6º mês - Adubação de cobertura	Disponibilizar nutrientes necessários para o crescimento da planta (60 kilos do fertilizante 10-00-40 por hectare)	Adubadeira acoplada ao trator
	12º mês - Adubação de cobertura	Disponibilizar nutrientes necessários para o crescimento da planta (90 kilos do fertilizante 10-00-40 por hectare)	Adubadeira acoplada ao trator
	12º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	12º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	12º mês - Manutenção de aceros	Limpar aceros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
Ano 2	18º mês - Aplicação de fungicida	Duas aplicações com o intervalo de 14 dias, de 300 ml por hectare cada, de Priori Xtra para prevenção e controle de fungos.	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	18º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	24º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	24º mês - Manutenção de aceros	Limpar aceros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
	24º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
Ano 3	30º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	36º mês - Calagem	Aplicação de 1,5 toneladas de calcário para corrigir a acidez do solo	Calcareadeira acoplada ao trator
	36º mês - Gradagem	Incorporar o calcário e fertilizante no solo e podar raízes das plantas	Grade aradora acoplada ao trator
	36º mês - Adubação de cobertura	Aplicação de 90 quilos de cloreto de potássio	Adubadeira acoplada ao trator
	36º mês - Manutenção de aceros	Limpar aceros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
	36º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	36º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
Ano 4 a 14	Manutenção de aceros (anual)	Limpar aceros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira
	Controle de formigas (anual)	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	Controle de plantas daninhas (a cada 6 meses)	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
Colheita			
Ano 15	Corte raso	Corte e descasca das árvores	Harvester
	Baldeio e carregamento	Colheita dos troncos cortados e transporte para o carregador	Forwarder
	Transporte	Transp. toras para a indústria de celulose (aprox. 439,7 m3)	Carreta 9 eixos, cap. de 49 ton.

APÊNDICE 2 – Descrição da fase agrícola dos sistemas de produção florestal. (continuação)

Sistema de produção PM – Pinus para madeira serrada (1.667 árvores por hectare)

	Processo	Objetivo	Operação manual ou mecanizada
Preparo do solo e pré-plantio	Controle de formigas	Combate inicial (2 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	60 dias após o combate inicial - Controle de formigas	Repasse (2 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	Limpeza da área ser plantada	Remoção das árvores permitidas, troncos e raízes da pastagem degradada	Pá carregadeira acoplada ao trator
	Dessecação em área total	Controle de plantas daninhas com glifosato (3 litros por hectare)	Pulverizador em barra acoplado ao trator
	45 dias antes do plantio - Calagem	Aplicação de calcário dolomítico para suprir a demanda por Ca e Mg (1,5 tonelada por hectare)	Calcareadeira acoplada ao trator
	Gradagem	Incorporação do calcário no solo	Grade aradora acoplada ao trator
	Abertura de estradas e aceiros	Abertura de estradas e aceiros de divisa e entre plantio	Pá carregadeira acoplada ao trator
	Subsolagem	Abertura de covas para o plantio	Subsolador acoplado ao trator
Plantio	Plantio de mudas, adubação e retenção de água no plantio	Plantio de mudas, disponibilização de nutrientes para as mudas (150 kilos de fertilizante 12-20-22 por hectare) e aplicação de polímero hidrogel (2,8 gramas por cova)	Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator
Manejo			
Ano 1	Replantio de mudas	Substituição de mudas mortas ou danificadas (10%)	Mão-de-obra
	1º mês - Controle de plantas daninhas	Controle de plantas daninhas invasoras com herbicida pré-emergente isoxaflutole (0,15 kilos por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	1º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	2 meses - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	3 meses - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	4 meses - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	6º mês - Controle de plantas daninhas	Controle de plantas daninhas invasoras com aplicação em linha de herbicida pós-emergente glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	6º mês - Adubação de cobertura	Disponibilizar nutrientes necessários para o crescimento da planta (60 kilos do fertilizante 10-00-40 por hectare)	Adubadeira acoplada ao trator
	12º mês - Adubação de cobertura	Disponibilizar nutrientes necessários para o crescimento da planta (90 kilos do fertilizante 10-00-40 por hectare)	Adubadeira acoplada ao trator
	12º mês - Controle de plantas daninhas	Controle de plantas daninhas invasoras com aplicação em linha de herbicida pós-emergente glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	12º mês - Manutenção de estradas e aceiros	Limpeza dos aceiros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
Ano 2	18º mês - Controle de formigas	Ronda (1,5 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	24º mês - Controle de formigas	Ronda (1,5 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	18º mês - Aplicação de fungicida	Duas aplicações com o intervalo de 14 dias, de 300 ml por hectare cada, de Priori Xtra para prevenção e controle de fungos.	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	18º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	24º mês - Manutenção de estradas e aceiros	Limpeza dos aceiros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
	24º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
Ano 3 a 21	Controle de formigas (a cada 6 meses)	Ronda (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	Manutenção de estradas e aceiros (anual)	Limpeza dos aceiros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
Ano 4	Desrama	Remover ramos até cerca de 50% da altura da copas, em torno de 3 metros de altura, de todas as árvores	Motopoda
Ano 6	Desrama	Remover ramos em torno de 6 metros de altura das 420 melhores árvores por hectare	Motopoda

APÊNDICE 2 – Descrição da fase agrícola dos sistemas de produção florestal. (continuação)

Ano 8	Desrama	Remover ramos em torno de 9 metros de altura das 250 melhores árvores por hectare	Motopoda
	Desbaste	Corte de aprox. 667 árvores	Harvester
	Baldeio e carregamento	Carregamento das toras	Forwarder
	Transporte	Transporte das toras para a indústria	Carreta 9 eixos, capacidade de 49 toneladas
Ano 12	Desbaste	Corte e descasca de aprox. 300 árvores	Harvester
	Baldeio e carregamento	Carregamento das toras	Forwarder
	Transporte	Transporte das toras para a indústria	Carreta 9 eixos, capacidade de 49 toneladas
Ano 16	Desbaste	Corte e descasca de aprox. 300 árvores	Harvester
	Baldeio e carregamento	Carregamento das toras	Forwarder
	Transporte	Transporte das toras para a indústria	Carreta 9 eixos, capacidade de 49 toneladas
Colheita			
Ano 21	Corte raso	Corte de aprox. 400 árvores	Harvester
	Baldeio e carregamento	Carregamento das toras	Forwarder
	Transporte	Transporte das toras para a serraria	Carreta 9 eixos, capacidade de 49 toneladas

APÊNDICE 2 – Descrição da fase agrícola dos sistemas de produção florestal. (continuação)

Sistema de produção PRM – Pinus para resinagem e madeira serrada (1.667 árvores/hectare, resinagem de 950 árvores por hectare a partir dos 12 anos.

	Processo	Objetivo	Operação manual ou mecanizada
Preparo do solo	Controle de formigas	Combate inicial (2 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	60 dias após o combate inicial - Controle de formigas	Repasse (2 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	Limpeza da área degradada a ser plantada	Remover árvores permitidas, troncos e raízes da pastagem degradada	Pá carregadeira acoplada ao trator
	Dessecação em área total	Controle de plantas daninhas com glifosato (3 litros por hectare)	Pulverizador em barra acoplado ao trator
	45 dias antes do plantio - Calagem	Aplicação de calcário para corrigir a acidez do solo (1,5 toneladas por hectare)	Calcareadeira acoplada ao trator
	Gradagem	Incorporar o calcário no solo	Grade aradora acoplada ao trator
	Abertura de aceros	Abertura de acero de divisa e entre plantio	Pá carregadeira acoplada ao trator
	Subsolador	Abertura de covas para o plantio	Subsolador acoplado ao trator
	15 a 30 dias antes do plantio - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às mudas (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
Plantio	Plantio de mudas e adubação de plantio	Plantio de mudas e disponibilização de nutrientes para as mudas (150 kilos de fertilizante 12-20-22 por hectare)	Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator
Manejo			
Ano 1	Replantio de mudas	Substituição de mudas mortas ou danificadas (10%)	Mão-de-obra
	1º mês - Aplicação de herbicida pré-emergente	Controlar plantas daninhas invasoras com herbicida seletivo isoxaflutole (0,15 kilos por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	1º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	2º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	3º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	6º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	6º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	6º mês - Adubação de cobertura	Disponibilizar nutrientes necessários para o crescimento da planta (60 kilos do fertilizante 10-00-40 por hectare)	Adubadeira acoplada ao trator
	12º mês - Adubação de cobertura	Disponibilizar nutrientes necessários para o crescimento da planta (90 kilos do fertilizante 10-00-40 por hectare)	Adubadeira acoplada ao trator
	12º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	12º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (1 kilo por hectare)	Mão-de-obra
	12º mês - Manutenção de aceros	Limpar aceros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
Ano 2	18º mês - Aplicação de fungicida	Duas aplicações com o intervalo de 14 dias, de 300 ml por hectare cada, de Priori Xtra para prevenção e controle de fungos.	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	18º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	24º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	24º mês - Manutenção de aceros	Limpar aceros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
	24º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
Ano 3	30º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	36º mês - Calagem	Aplicação de 1,5 toneladas de calcário para corrigir a acidez do solo	Calcareadeira acoplada ao trator
	36º mês - Gradagem	Incorporar o calcário e fertilizante no solo e podar raízes das plantas	Grade aradora acoplada ao trator
	36º mês - Adubação de cobertura	Aplicação de 90 quilos de cloreto de potássio	Adubadeira acoplada ao trator
	36º mês - Manutenção de aceros	Limpar aceros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
	36º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	36º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator

APÊNDICE 2 – Descrição da fase agrícola dos sistemas de produção florestal. (continuação)

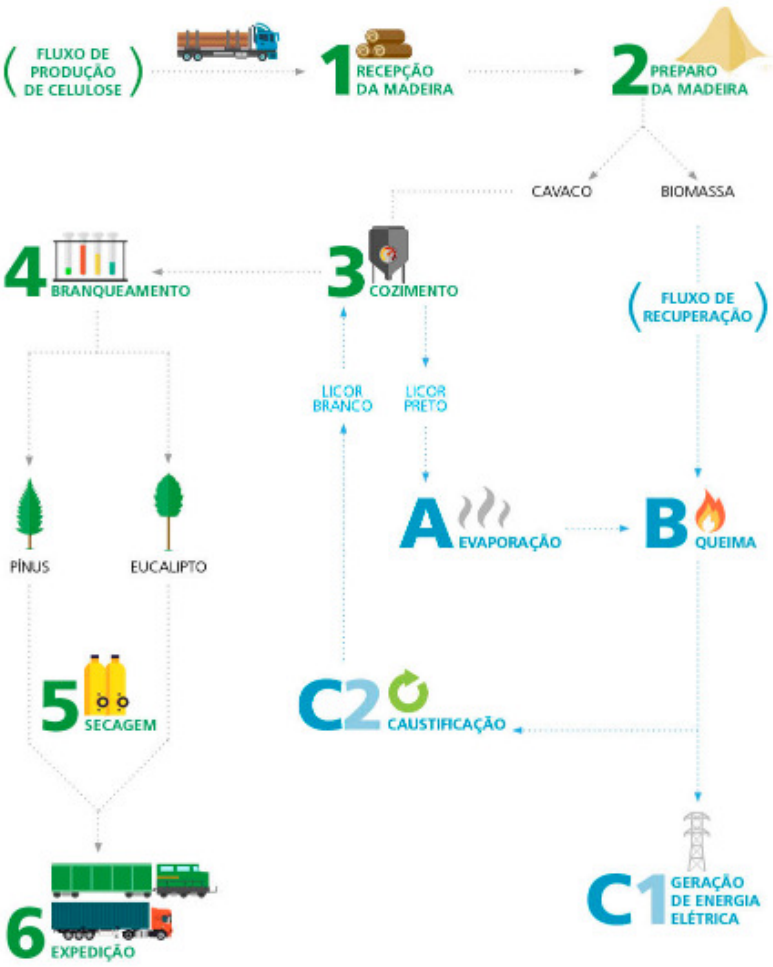
Ano 4	48º mês - Manutenção de aceros	Limpar aceros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
	48º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Aplicação manual
	48º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
	Desrama	Remover ramos até cerca de 50% da altura da copas, em torno de 3 metros de altura, de todas as árvores	Motopoda
Ano 5	60º mês - Manutenção de aceros	Limpar aceros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
	60º mês - Controle de formigas	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Aplicação manual
	60º mês - Controle de plantas daninhas	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
Ano 6	Desrama	Remover ramos em torno de 6 metros de altura das 420 melhores árvores por hectare	Motopoda
Ano 6 a 20	Manutenção de aceros (anual)	Limpar aceros para prevenção de incêndios	Pá carregadeira acoplada ao trator
	Controle de formigas (anual)	Controle preventivo ao ataque de formigas às árvores (3 kilos de sulfuramida por hectare)	Mão-de-obra
	Controle de plantas daninhas (a cada 6 meses)	Aplicação em linha de herbicida glifosato (2 litros por hectare)	Pulverizador em linha acoplado ao trator
Ano 8	Desrama	Remover ramos em torno de 9 metros de altura das 250 melhores árvores por hectare	Motopoda
	Desbaste	Corte e descasca de aprox. 500 árvores	Harvester
	Baldeio e carregamento	Colheita dos troncos cortados e transporte para o carregador	Forwarder
	Transporte	Transportar as toras para a indústria (aprox. 27,9 m³)	Carreta 9 eixos, capacidade de 49 toneladas
Ano 12	Desbaste	Corte e descasca de aprox. 217 árvores	Harvester
	Baldeio e carregamento	Colheita dos troncos cortados e transporte para o carregador	Forwarder
	Transporte	Transportar as toras para a indústria (aprox. 31,8 m³)	Carreta 9 eixos, capacidade de 49 toneladas
	Preparação para o início da resinagem das árvores	Limpeza do tronco, confecção do bigode, colocação do recipiente coletor	Mão-de-obra e equipamentos
	Resinagem	Estriagem, estimulação química e acondicionamento da goma-resina	Mão-de-obra e equipamentos
	Coleta da resina	Retirada da goma-resina em baldes de 20 litros e acondicionamento em tambores metálicos de 200 quilos	Mão-de-obra e equipamentos
	Transporte interno	Transporte dos tambores para o carregamento da carreta	Trator 110 cv com carreta agrícola 2 eixos
	Transporte externo	Transporte dos tambores com goma-resina para a indústria	Carreta bitrem, capacidade de 37 toneladas
Anos 13-21	Resinagem	Estriagem, estimulação química e acondicionamento da goma-resina	Mão-de-obra e equipamentos
	Coleta da resina	Retirada da goma-resina em latas de 20 litros e acondicionamento em tambores metálicos de 200 quilos	Mão-de-obra e equipamentos
	Transporte interno	Transporte dos tambores para o carregamento da carreta	Trator 110 cv com carreta agrícola 2 eixos
	Transporte externo	Transporte dos tambores com goma-resina para a indústria	Carreta bitrem, capacidade de 37 toneladas
	Repouso	Limpeza do tronco, confecção do bigode, colocação do recipiente coletor	Mão-de-obra e equipamentos
Colheita			
Ano 21	Corte raso	Corte e descasca das 950 árvores	Harvester
	Baldeio e carregamento	Colheita dos troncos cortados e transporte para o carregador	Forwarder
	Transporte	Transportar as toras para a indústria (aprox. 423,2 m³)	Carreta 9 eixos, capacidade de 49 toneladas

APÊNDICE 3 – Descrição da fase industrial dos sistemas de produção florestal.

Sistema industrial de produção de celulose

A definição da celulose e a descrição do seu processo de produção são apresentados a seguir, de acordo com as informações disponibilizadas no site institucional da Klabin, única indústria no Brasil a atuar nos mercados de fibra curta e longa. No entanto, esta descrição é representativa do setor, uma vez que os processos são idênticos em outras empresas como a Fibria, Suzano, Celulose Rio Grandense, entre outras.

A celulose de fibra curta é produzida a partir de florestas plantadas de eucalipto e é utilizada em diferentes tipos de papel, como os do segmento de tissue (papel higiênico, toalhas e guardanapos), papéis de imprimir e escrever e papéis especiais. Já a celulose de fibra longa, proveniente de florestas plantadas de pinus, confere propriedades como resistência a papéis dos segmentos de *tissue*.



Fonte: Klabin (2017).

1 - Recepção da madeira: a fábrica recebe madeiras de pinus e eucalipto, que chegam por caminhões.
2 - Preparo da madeira: as toras de madeira são transportadas com casca até a fábrica, onde são descascadas e picadas, formando pilhas de cavacos. As cascas que são removidas no processo de descascamento, seguem para os trituradores e são armazenadas no silo de biomassa. Posteriormente, alimentam a caldeira de força.
3 - Cozimento: os cavacos são submetidos a cozimento em alta temperatura no digestor, com a adição do licor branco e, após o digestor, a polpa é lavada, deslignificada (processo de extensão do cozimento com a utilização de soda cáustica e oxigênio) e depurada, em que os cavacos não cozidos são separados da polpa. O licor preto que se forma nos processos de cozimento do eucalipto e do pinus, que contêm lignina e outros extrativos, bem como o licor branco reagido, seguem em um único fluxo para o processo de recuperação.
4 - Branqueamento: a polpa de celulose de fibra curta é submetida a branqueamento por processo químico em três estágios; já a de fibra longa é submetida a branqueamento em quatro estágios, devido à maior resistência desta fibra à reação química.
5 - Secagem: após secagem, a polpa de celulose de fibra curta é transformada em fardos e a de fibra longa pode ser transformada em fardos ou em bobinas de celulose *fluff*.
6 - Expedição: os fardos de celulose de fibra curta e de fibra longa e as bobinas de celulose *fluff* seguem, embalados, para estoque e expedição, de onde são transportados via rodoviária para clientes locais e por ferrovia até o Porto de Paranaguá (PR) para exportação.

Fluxo de recuperação:
A - Evaporação: o licor preto gerado no processo de cozimento das linhas de celulose de fibra curta e de fibra longa passa pelo processo de evaporação, onde é concentrado a 80% de sólidos.
B e C1- Queima: a queima do licor preto concentrado acontece na caldeira de recuperação. A porção orgânica do licor preto que entra em combustão gera vapor, que alimenta o processo e também se converte em energia elétrica nos turbogeradores. A porção inorgânica (smelt) segue para o processo de caustificação, para gerar licor branco novamente para o digestor. As frações de madeira e as cascas não aproveitadas no processo de celulose, a partir do preparo da madeira, são queimadas na caldeira de biomassa, que produz vapor para a geração de energia, nos mesmos turbogeradores.

C2 - Caustificação e fornos de cal: processo de recuperação do smelt, que forma o licor verde e regenera o licor branco, que volta para a etapa de cozimento do processo de produção da celulose.

Fontes:

CELULOSE. Disponível em: <http://www.celuloseriograndense.com.br/produtos>. Acesso em: 26 jul. 2017.

ETAPAS DE PRODUÇÃO DA UNIDADE PUMA. KLABIN. Disponível em: <https://www.klabin.com.br/pt/negocios-produtos/celulose/etapas-de-producao-da-unidade-puma/>. Acesso em: 26 jul. 2017.

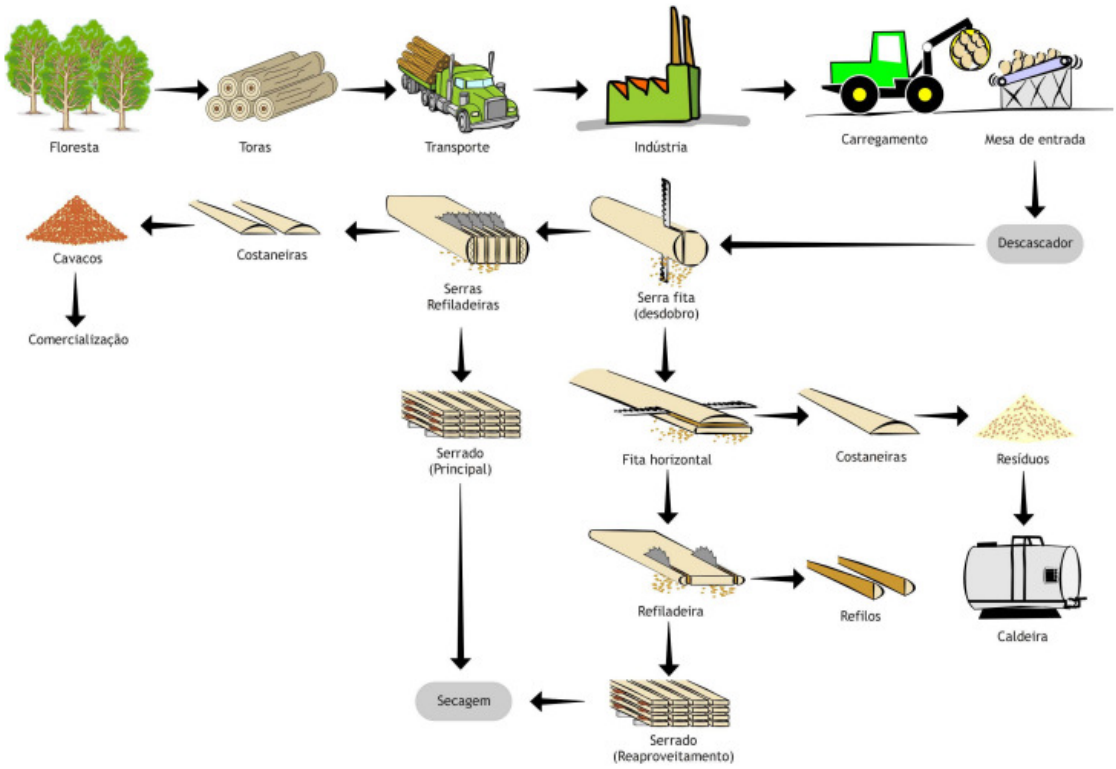
NEGÓCIOS E PRODUTOS. KLABIN. Disponível em: <https://www.klabin.com.br/pt/negocios-produtos/celulose/>. Acesso em: 26 jul. 2017.

PROCESSO DE PRODUÇÃO. Disponível em: http:<//www.fibria.com.br/r2016/pt/processo-de-producao.html>. Acesso em: 26 jul. 2017.

SUZANO: CONHEÇA EM DETALHES A PRODUÇÃO DO PAPEL A4. Disponível em: <http://celuloseonline.com.br/suzano-conheca-em-detalhes-producao-do-papel-a4/>. Acesso em: 26 jul. 2017.

Sistema industrial de produção de madeira serrada

O processamento de madeira serrada é descrito a seguir de acordo com a Abimci (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente), entidade representante do setor. Madeira serrada é uma denominação genérica de vários produtos resultantes do desdobro da tora em serrarias, dentre os quais estão as pranchas, blocos, tábuas, dormentes, madeira aplainada, beneficiada, semielaborada, perfis, vigas, entre outros (HEINRICH, 2010). O desdobro é o processo pelo qual uma tora de madeira de seção circular é transformada em peças de seções retangulares e quadradas (HEINRICH, 2010).



Fonte: Abimci (2004).

• Recepção das toras: Após o descarregamento da madeira em toras, ela é traçada e classificada, normalmente de acordo com seu diâmetro, sendo posteriormente levada ao descascamento. Esta operação pode ser facultativa em algumas indústrias.

• Descascamento: as toras seguem para um descascador de tambor e são mais uma vez classificadas conforme a classe de diâmetro. As toras descascadas são enviadas para processamento e depositadas em uma mesa unitizadora, que as separa uma a uma, antes do desdobro.

• Desdobro principal: as toras separadas uma a uma passam por uma serra de fita simples ou dupla, obtendo-se como produto um bloco e costaneiras.

• Refilos: o bloco é encaminhado para outro conjunto de serras (serras circulares múltiplas), obtendo-se o produto principal (tábuas e outras) de bitolas padronizadas e costaneiras. As costaneiras que sobram do processamento da serra de fita e das serras múltiplas são aproveitadas, no primeiro caso, para a produção de um produto de mesma dimensão do produto principal. Para isto, são encaminhadas para uma outra serra de fita horizontal e para a refiladeira. Já no segundo caso, as costaneiras juntamente com os refilos seguem para o sistema de coleta de resíduos, que encaminha os mesmos para um picador transformando-os desta forma em cavacos, podendo ser comercializado.

• Gradeamento e secagem: os serrados são então direcionados à secagem por meio de um processo natural ou artificial. A secagem natural ou ao ar livre é mais usada na época em que a temperatura é mais alta e a umidade relativa do ar mais baixa. Já a secagem artificial é feita em estufas em qualquer época do ano, pois a temperatura e umidade são controladas. Os serrados secos estão aptos à comercialização ou podem ser direcionados a um processamento secundário.

Fonte:

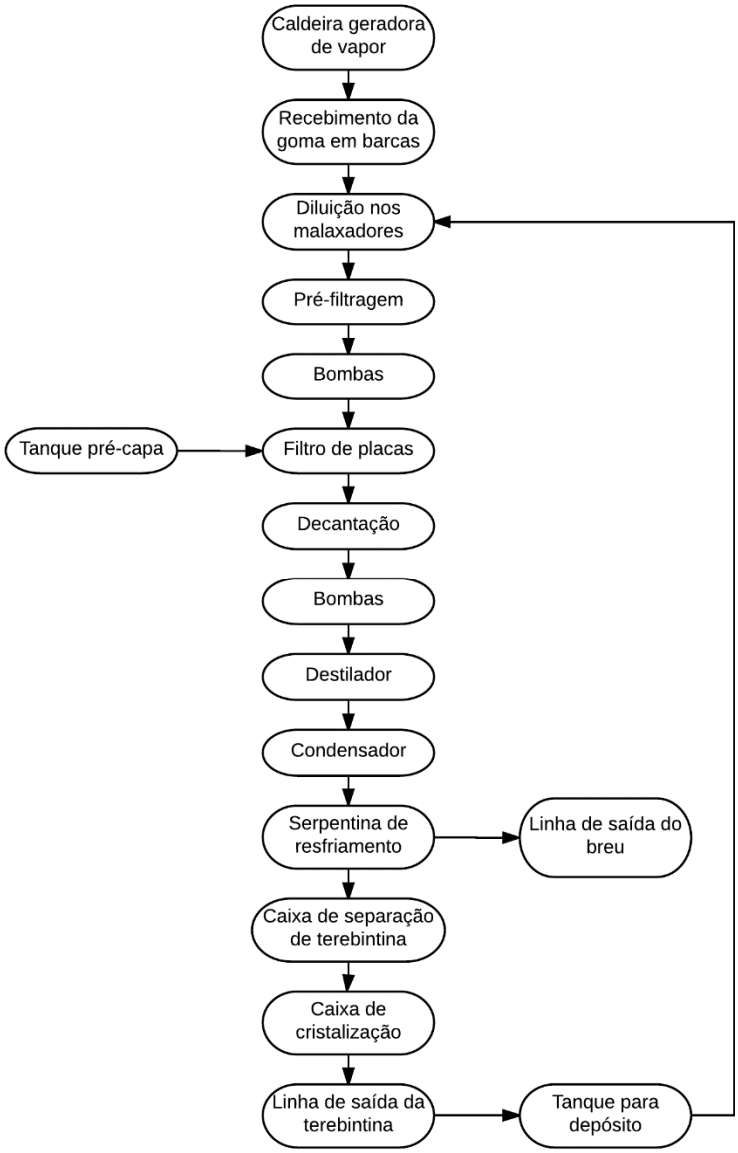
FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA. ABIMCI. Disponível em: < http://casadaduna.com/abaixar/fluxograma.pdf?>. Acesso em: 26 jul. 2017.

HEINRICH, D. **Simulação da produção de madeira serrada.** 2010. 160 f. 2010. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Administração)-Programa de Pós-Graduação em Administração, Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Sistema industrial de produção de breu e terebentina a partir da goma-resina

A descrição deste processo industrial é feita com base em Cieslinski (2016) e nas definições dos produtos pela Celulose Irani S.A. A goma resina obtida pela exsudação das árvores de *Pínus* é uma mistura de hidrocarbonetos de cadeia longa, compostos por vários ácidos resínicos, tendo como principal deles, o ácido abiético, que após a destilação, torna-se a parte sólida, chamado breu e a parte volátil, composta de cíclicos aromáticos, chamada terebintina (CELULOSE IRANI S.A., 2017).

Na etapa de pré-filtragem são retirados os sólidos grosseiros como acículas, lascas de tronco e cascas. A separação do breu e da terebintina ocorre no destilador. O breu é o componente sólido e a terebintina (líquido) continua no processo, passando pelo condensador, caixa de separação, caixa de cristalização e, por último enviada aos tanques de depósito. Na caixa de separação ocorre a separação entre a terebintina e a água restante do processo. Na caixa de cristalização é realizada a purificação da terebintina com sal grosso, que neste momento, já está pronta para venda, sendo encaminhada para os tanques de depósito ou carregada em caminhões para transporte.



Fonte: Elaborada com base em Cieslinski (2016).

Fonte:

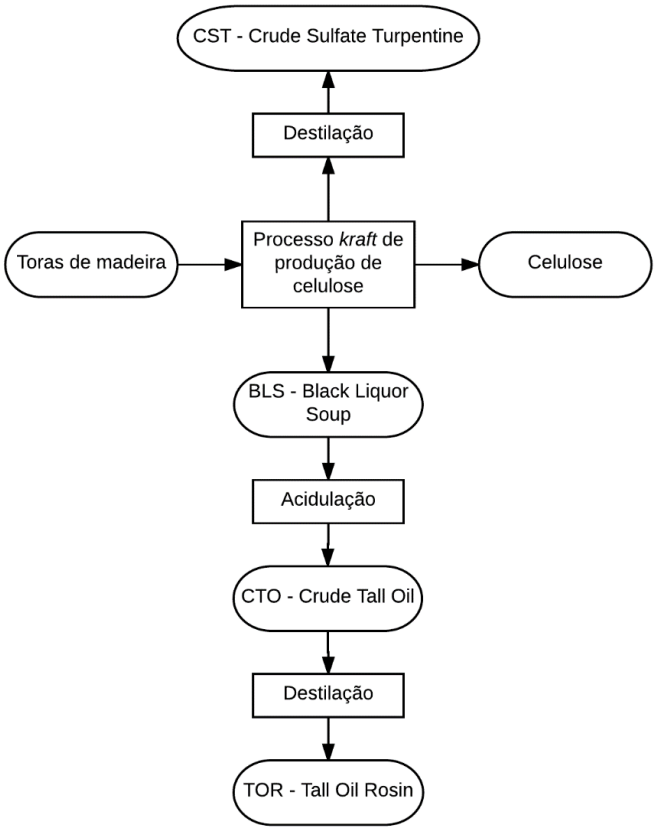
CIESLINSKI (2016). Caracterização de resíduo proveniente da produção de breu e terebintina a partir da goma resina de pinus sp. e implicações ambientais advindas da sua utilização para fins de produção de energia. In: CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 22º, 2016. Natal/Rio Grande do Norte. Disponível em: <http://www.cbecimat.com.br/anais/PDF/219-010.pdf>.

RESINA. Disponível em: < http://www.irani.com.br/pt/info/resina#papel-174>. Acesso em: 26 jul. 2017.

Sistema industrial de produção de breu e terebentina a partir do processo *kraft* de produção de celulose

Este processo industrial é descrito com base em Cashman et al. (2016), com auxílio de um artigo publicado pela revista especializada na indústria de adesivos, a *ASI Adhesives & Sealants.* Os derivados de breu e terebintina, também conhecidos como *pine chemicals*, são produzidos a partir de árvores vivas, tocos e troncos ou como coprodutos do processo *kraft* de produção de celulose. O processo Kraft é a principal forma de produção de celulose por ser um processo com cozimento contínuo, que possui um sistema de recuperação dos produtos químicos (ALVES et al., 2015). Deste sistema resultam o sulfato de terebintina (*Crude Sulfate Turpentine* - CST) e o breu (*Tall Oil Rosin – TOR).*

Durante o processo *kraft* de produção de celulose, as toras de madeira são transformadas em celulose, CST e licor negro (*black liquor soap* - BLS), que é recuperado como subproduto deste processo. Em média, resultam do processo *kraft*, em termos de massa, 95% de celulose, 4% de BLS e 1% de CST. Depois de ser recuperado e levado para a planta de acidulação, o BLS reage com ácido sulfúrico para produzir CTO (*crude tall oil*). Na biorefinaria, o CTO é destilado em uma coluna de fracionamento e origina químicos intermediários mais valiosos, dentre os quais, o breu de *tall oil* (TOR).



Fonte: Elaborada com base em Cashman et al (2016) e Adhesives Magazine (2017).

Fonte:

ALVES, Érica Daré et al. Estudo do processo de obtenção celulose Kraft com ênfase no forno de cal. **Revista Liberato**, v. 16, n. 26, 2015.

CASHMAN, Sarah A.; MORAN, Kevin M.; GAGLIONE, Anthony G. Greenhouse Gas and Energy Life Cycle Assessment of Pine Chemicals Derived from Crude Tall Oil and Their Substitutes. **Journal of Industrial Ecology**, v. 20, n. 5, p. 1108-1121, 2016.

GOING GREEN. Disponível em: <https://www.adhesivesmag.com/articles/84125-going-green-1>. Acesso em: 26 Jul. 2017.

APÊNDICE 4 – Inventário ambiental da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal.
(continua)

MÍN	Sistemas	
Fases e insumos	**EC**	**EM**
Preparo do solo e plantio		
Calcário (kg)	2000	2000
Fertilizante 12-20-16 - plantio (kg)	300	300
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	3	3
Diesel (l)	134,97	134,97
Óleos lubrificantes e graxas (l)	5,02	5,02
Manejo		
Fertilizante 10-00-30 - cobertura (kg)	300	300
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	11	11
Diesel (l)	122,4	332,4
Óleos lubrificantes e graxas (l)	4,55	12,37
Gasolina (l)	0	210
Desbastes e corte		
Diesel (l)	257,96	333,56
Óleos lubrificantes e graxas (l)	9,6	12,41
Transporte		
Diesel (l)	769,04	2369,47
Óleos lubrificantes e graxas (l)	23,84	73,45
TOTAL		
Calcário (kg)	2000	2000
Fertilizante 10-00-30 - cobertura (kg)	300	300
Fertilizante 12-20-16 - plantio (kg)	300	300
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	14	14
Diesel (l)	1284,37	3170,40
Óleos lubrificantes e graxas (l)	43,01	103,25
Gasolina (l)	0	210

MÍN	Sistemas		
Fases e insumos	**PC**	**PM**	**PRM**
Preparo do solo e plantio			
Calcário (kg)	1500	1500	1500
Fertilizante 12-20-22 - plantio (kg)	150	150	150
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	3	3	3
Diesel (l)	134,97	134,97	134,97
Óleos lubrificantes e graxas (l)	5,02	5,02	5,02
Manejo			
Fertilizante 10-00-40 - cobertura (kg)	150	150	150
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	11	11	11
Diesel (l)	242,4	332,4	602,4
Óleos lubrificantes e graxas (l)	9,02	12,37	22,41
Gasolina (l)	0	210	210
Pasta estimulante (kg)	0	0	343,87
Desbastes e corte			
Diesel (l)	444,4	333,56	334,56
Óleos lubrificantes e graxas (l)	16,53	12,41	12,45
Transporte			
Diesel (l)	777,53	1100,7	1196,42
Óleos lubrificantes e graxas (l)	24,1	34,12	37,09
TOTAL			
Calcário (kg)	1500	1500	1500
Fertilizante 10-00-30 - cobertura (kg)	150	150	150
Fertilizante 12-20-16 - plantio (kg)	150	150	150
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	14	14	14
Diesel (l)	1599,30	1901,63	2268,35
Óleos lubrificantes e graxas (l)	54,67	63,92	76,97
Gasolina (l)	0	210	210

APÊNDICE 4 – Inventário ambiental da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal.
(continuação)

MÁX	Sistemas	
Fases e insumos	**EC**	**EM**
Preparo do solo e plantio		
Calcário (kg)	2000	2000
Fertilizante 12-20-16 - plantio (kg)	300	300
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	3	3
Diesel (l)	134,97	134,97
Óleos lubrificantes e graxas (l)	5,02	5,02
Manejo		
Fertilizante 10-00-30 - cobertura (kg)	300	300
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	11	11
Diesel (l)	122,4	332,4
Óleos lubrificantes e graxas (l)	4,55	12,37
Gasolina (l)	0	210
Desbastes e corte		
Diesel (l)	257,96	333,56
Óleos lubrificantes e graxas (l)	9,6	12,41
Transporte		
Diesel (l)	953,12	2845,5
Óleos lubrificantes e graxas (l)	29,55	88,21
TOTAL		
Calcário (kg)	2000	2000
Fertilizante 10-00-30 - cobertura (kg)	300	300
Fertilizante 12-20-16 - plantio (kg)	300	300
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	14	14
Diesel (l)	1468,45	3646,43
Óleos lubrificantes e graxas (l)	48,72	118,01
Gasolina (l)	0	210

MÁX	Sistemas		
Fases e insumos	**PC**	**PM**	**PRM**
Preparo do solo e plantio			
Calcário (kg)	1500	1500	1500
Fertilizante 12-20-22 - plantio (kg)	150	150	150
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	3	3	3
Diesel (l)	134,97	134,97	134,97
Óleos lubrificantes e graxas (l)	5,02	5,02	5,02
Manejo			
Fertilizante 10-00-40 - cobertura (kg)	150	150	150
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	11	11	11
Diesel (l)	242,4	332,4	602,4
Óleos lubrificantes e graxas (l)	9,02	12,37	22,41
Gasolina (l)	0	210	210
Pasta estimulante (kg)	0	0	343,87
Desbastes e corte			
Diesel (l)	444,4	333,56	334,56
Óleos lubrificantes e graxas (l)	16,53	12,41	12,45
Transporte			
Diesel (l)	991,95	1383,83	1465,51
Óleos lubrificantes e graxas (l)	30,75	42,9	45,43
TOTAL			
Calcário (kg)	1500	1500	1500
Fertilizante 10-00-30 - cobertura (kg)	150	150	150
Fertilizante 12-20-16 - plantio (kg)	150	150	150
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	14	14	14
Diesel (l)	1813,72	2184,76	2537,44
Óleos lubrificantes e graxas (l)	61,32	72,70	85,31
Gasolina (l)	0	210	210

APÊNDICE 4 – Inventário ambiental da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal.
(continuação)

MÉD	Sistemas	
Fases e insumos	**EC**	**EM**
Preparo do solo e plantio		
Calcário (kg)	2000	2000
Fertilizante 12-20-16 - plantio (kg)	300	300
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	3	3
Diesel (l)	134,97	134,97
Óleos lubrificantes e graxas (l)	5,02	5,02
Manejo		
Fertilizante 10-00-30 - cobertura (kg)	300	300
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	11	11
Diesel (l)	122,4	332,4
Óleos lubrificantes e graxas (l)	4,55	12,37
Gasolina (l)	0	210
Desbastes e corte		
Diesel (l)	257,96	333,56
Óleos lubrificantes e graxas (l)	9,6	12,41
Transporte		
Diesel (l)	859,24	2608,18
Óleos lubrificantes e graxas (l)	26,64	80,85
TOTAL		
Calcário (kg)	2000	2000
Fertilizante 10-00-30 - cobertura (kg)	300	300
Fertilizante 12-20-16 - plantio (kg)	300	300
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	14	14
Diesel (l)	1374,57	3409,11
Óleos lubrificantes e graxas (l)	45,81	110,65
Gasolina (l)	0	210

MÉD	Sistemas		
Fases e insumos	**PC**	**PM**	**PRM**
Preparo do solo e plantio			
Calcário (kg)	1500	1500	1500
Fertilizante 12-20-22 - plantio (kg)	150	150	150
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	3	3	3
Diesel (l)	134,97	134,97	134,97
Óleos lubrificantes e graxas (l)	5,02	5,02	5,02
Manejo			
Fertilizante 10-00-40 - cobertura (kg)	150	150	150
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	11	11	11
Diesel (l)	242,4	332,4	602,4
Óleos lubrificantes e graxas (l)	9,02	12,37	22,41
Gasolina (l)	0	210	210
Pasta estimulante (kg)	0	0	343,87
Desbastes e corte			
Diesel (l)	444,4	333,56	334,56
Óleos lubrificantes e graxas (l)	16,53	12,41	12,45
Transporte			
Diesel (l)	885,15	1240,91	1331,15
Óleos lubrificantes e graxas (l)	27,44	38,47	41,27
TOTAL			
Calcário (kg)	1500	1500	1500
Fertilizante 10-00-30 - cobertura (kg)	150	150	150
Fertilizante 12-20-16 - plantio (kg)	150	150	150
Herbicida pós-emergente, glifosato (l)	14	14	14
Diesel (l)	1706,92	2041,84	2403,08
Óleos lubrificantes e graxas (l)	58,01	68,27	81,15
Gasolina (l)	0	210	210

APÊNDICE 5 – Inventário ambiental da fase industrial dos sistemas de produção florestal.

Insumos	**Sistemas**			
	Celulose (por tonelada produzida)	**Madeira serrada** (por m^3 produzido)	**Breu e Terebentina_ Goma-resina** (por tonelada de goma-resina processada)	**Breu e Terebentina_Kraft** (por tonelada de CTO e 0,27 tonelada de TOR produzidos)
Óleo BPF (l)	3			5,3
Óleo diesel (l)	14,4	0,7	0,1	0,7
Energia elétrica (kWh)	7	33	26,5	203,6
Gasolina (l)			0,5	

APÊNDICE 6 – Custeio da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare).
(continua)

Custos de produção - Eucalipto para celulose MÍN

		Ano 01		Ano 02		Ano 03		Ano 04/05/06		Ano 07	
1. Mecanização	**Custo/hora**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**
Pá carregadeira - limpeza	78,61	1,50	117,91								
Pulverizador em barra acoplado ao trator	56,04	0,90	50,44								
Calcareadeira acoplada ao trator	57,50	0,30	17,25								
Grade aradora acoplada ao trator	81,64	1,50	122,47								
Subsolador acoplado ao trator	67,47	2,00	134,94								
Pá carregadeira - aceiros (abertura 2 horas, manutenção 1 hora)	78,61	2,00	157,21	1	78,61	1	78,61	3,00	235,82	1,00	78,607
Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator	73,97	1,33	98,38								
Pulverizador em linha acoplado ao trator	58,37	1,80	105,07	1,2	70,04						
Adubadeira acoplada ao trator	70,50	0,60	42,302								
Total			**R$ 845,96**		**R$ 148,65**		**R$ 78,61**		**R$ 235,82**		**R$ 78,61**

2. Insumos	**Preço**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**
Formicida (Mirex Max - Sulfuramida) (kg)	8,00	8	64,00	3	24,00	3	24,00	9	72,00	3	24,00
Calcário (kg)	0,08	2000	160,00								
Herbicida Pós-emergente, glifosato (l)	11,00	7	77,00	4	44,00						
Herbicida Pré-emergente (Isoxaflultole) (kg)	833,33	0,15	125,00								
Fertilizante 12-20-16 - plantio (kg)	1,33	300	399,00								
Fertilizante 10-00-30 - cobertura (kg)	0,95	300	285,00								
Polímero hidrogel (g)	0,12	3640	427,70								
Fungicida Priori Xtra (l)	143,00			0,6	85,80						
Mudas (+ 10% replantio)	0,33	1430	471,90								
Total			**R$ 2.009,60**		**R$ 153,80**		**R$ 24,00**		**R$ 72,00**		**R$ 24,00**

3. Mão de obra	**Custo/homem/hora**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**
Operações mecanizadas - Preparo do solo, plantio e manejo	7,00	11,93	83,51	2,20	15,40	1,00	7,00	3,00	21,00	1,00	7,00
Operações mecanizadas - Corte	7,00									15,22	106,57
Operações manuais - Replantio (68,75 mudas/homem/hora) = 130 mudas	7,00	1,89	13,24								
Operações manuais - Controle de formigas (2,67 horas/homem/aplicação)	7,00	16,02	112,14	5,34	37,38	5,34	37,38	16,02	112,14	5,34	37,38
Total			**R$ 208,89**		**R$ 52,78**		**R$ 44,38**		**R$ 133,14**		**R$ 150,95**

4. Corte	**Custo/hora**	**Horas/árvore**	**Árvores**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**
Harvester	178,05	0,0062	1.300	8,00	R$ 1.424,39
Forwarder	164,46	0,0056	1.300	7,22	R$ 1.188,14
Total					**R$ 2.612,53**

5. Transporte	**Custo/ton**	**m3**	**ton**	**Custo/ha**
Frete - rodotrem cap 49 ton	46,94	217,13	204,80	R$ 9.613,17
Total				**R$ 9.613,17**

Obs.: Teor de umidade 34% e densidade básica 943,2 kg/m3 (Almeida et al., 2014)

6. Custo total por ano		**R$ 3.064,45**		**R$ 355,23**		**R$ 146,99**		**R$ 440,96**		**R$ 12.479,26**	

7. Composição do custo total		
	R$	
1. Mecanização	1.387,65	8,42%
2. Insumos	R$ 2.283,40	13,85%
3. Mão de obra	R$ 590,14	3,58%
4. Corte	R$ 2.612,53	15,85%
5. Transporte	R$ 9.613,17	58,31%
Total	**R$ 16.486,89**	

APÊNDICE 6 – Custeio da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare). (continuação)

Custos de produção - Eucalipto para celulose MÉD

		Ano 01		Ano 02		Ano 03		Ano 04/05/06		Ano 07	
1. Mecanização	**Custo/hora**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**
Pá carregadeira - limpeza	78,61	1,50	117,91								
Pulverizador em barra acoplado ao trator	56,04	0,90	50,44								
Calcareadeira acoplada ao trator	57,50	0,30	17,25								
Grade aradora acoplada ao trator	81,64	1,50	122,47								
Subsolador acoplado ao trator	67,47	2,00	134,94								
Pá carregadeira - aceiros (abertura 2 horas, manutenção 1 hora)	78,61	2,00	157,21	1	78,61	1	78,61	3,00	235,82	1,00	78,607
Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator	73,97	1,33	98,38								
Pulverizador em linha acoplado ao trator	58,37	1,80	105,07	1,2	70,04						
Adubadeira acoplada ao trator	70,50	0,60	42,302								
Total			**R$ 845,96**		**R$ 148,65**		**R$ 78,61**		**R$ 235,82**		**R$ 78,61**

2. Insumos	**Preço**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**
Formicida (Mirex Max - Sulfuramida) (kg)	8,00	8	64,00	3	24,00	3	24,00	9	72,00	3	24,00
Calcário (kg)	0,08	2000	160,00								
Herbicida Pós-emergente, glifosato (l)	11,00	7	77,00	4	44,00						
Herbicida Pré-emergente (Isoxaflultole) (kg)	833,33	0,15	125,00								
Fertilizante 12-20-16 - plantio (kg)	1,33	300	399,00								
Fertilizante 10-00-30 - cobertura (kg)	0,95	300	285,00								
Polímero hidrogel (g)	0,12	3640	427,70								
Fungicida Priori Xtra (l)	143,00			0,6	85,80						
Mudas (+ 10% replantio)	0,33	1430	471,90								
Total			**R$ 2.009,60**		**R$ 153,80**		**R$ 24,00**		**R$ 72,00**		**R$ 24,00**

3. Mão de obra	**Custo/homem/hora**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**
Operações mecanizadas - Preparo do solo, plantio e manejo	7,00	11,93	83,51	2,20	15,40	1,00	7,00	3,00	21,00	1,00	7,00
Operações mecanizadas - Corte	7,00									15,22	106,57
Operações manuais - Replantio (68,75 mudas/homem/hora) = 130 mudas	7,00	1,89	13,24								
Operações manuais - Controle de formigas (2,67 horas/homem/aplicação)	7,00	16,02	112,14	5,34	37,38	5,34	37,38	16,02	112,14	5,34	37,38
Total			**R$ 208,89**		**R$ 52,78**		**R$ 44,38**		**R$ 133,14**		**R$ 150,95**

4. Corte	**Custo/hora**	**Horas/arvore**	**Árvores**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**
Harvester	178,05	0,0062	1.300,00	8,00	R$ 1.424,39
Forwarder	164,46	0,0056	1.300,00	7,22	R$ 1.188,14
Total					**R$ 2.612,53**

5. Transporte	**Custo/ton**	**m3**	**ton**	**Custo/ha**
Frete - rodotrem cap 49 ton	46,94	242,60	228,82	R$ 10.740,83
Total				**R$ 10.740,83**

Obs.: Teor de umidade 34% e densidade básica 943,2 kg/m3 (Almeida et al., 2014)

6. Custo total por ano		**R$ 3.064,45**		**R$ 355,23**		**R$ 146,99**		**R$ 440,96**		**R$ 13.606,92**

7. Composição do custo total			
1. Mecanização	R$	1.387,65	7,88%
2. Insumos	R$	2.283,40	12,96%
3. Mão de obra	R$	590,14	3,35%
4. Corte	R$	2.612,53	14,83%
5. Transporte	R$	10.740,83	60,98%
Total	**R$**	**17.614,54**	

APÊNDICE 6 – Custeio da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare). (continuação)

Custos de produção - Eucalipto para celulose MÁX

		Ano 01		Ano 02		Ano 03		Ano 04/05/06		Ano 07	
1. Mecanização	**Custo/hora**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**
Pá carregadeira - limpeza	78,61	1,50	117,91								
Pulverizador em barra acoplado ao trator	56,04	0,90	50,44								
Calcareadeira acoplada ao trator	57,50	0,30	17,25								
Grade aradora acoplada ao trator	81,64	1,50	122,47								
Subsolador acoplado ao trator	67,47	2,00	134,94								
Pá carregadeira - aceiros (abertura 2 horas, manutenção 1 hora)	78,61	2,00	157,21	1	78,61	1	78,61	3,00	235,82	1,00	78,607
Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator	73,97	1,33	98,38								
Pulverizador em linha acoplado ao trator	58,37	1,80	105,07	1,2	70,04						
Adubadeira acoplada ao trator	70,50	0,60	42,302								
Total			**R$ 845,96**		**R$ 148,65**		**R$ 78,61**		**R$ 235,82**		**R$ 78,61**

2. Insumos	**Preço**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**
Formicida (Mirex Max - Sulfuramida) (kg)	8,00	8	64,00	3	24,00	3	24,00	9	72,00	3	24,00
Calcário (kg)	0,08	2000	160,00								
Herbicida Pós-emergente, glifosato (l)	11,00	7	77,00	4	44,00						
Herbicida Pré-emergente (Isoxaflultole) (kg)	833,33	0,15	125,00								
Fertilizante 12-20-16 - plantio (kg)	1,33	300	399,00								
Fertilizante 10-00-30 - cobertura (kg)	0,95	300	285,00								
Polímero hidrogel (g)	0,12	3640	427,70								
Fungicida Priori Xtra (l)	143,00			0,6	85,80						
Mudas (+ 10% replantio)	0,33	1430	471,90								
Total			**R$ 2.009,60**		**R$ 153,80**		**R$ 24,00**		**R$ 72,00**		**R$ 24,00**

3. Mão de obra	**Custo/homem/hora**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**
Operações mecanizadas - Preparo do solo, plantio e manejo	7,00	11,93	83,51	2,20	15,40	1,00	7,00	3,00	21,00	1,00	7,00
Operações mecanizadas - Corte	7,00									15,22	106,57
Operações manuais - Replantio (68,75 mudas/homem/hora) = 130 mudas	7,00	1,89	13,24								
Operações manuais - Controle de formigas (2,67 horas/homem/aplicação)	7,00	16,02	112,14	5,34	37,38	5,34	37,38	16,02	112,14	5,34	37,38
Total			**R$ 208,89**		**R$ 52,78**		**R$ 44,38**		**R$ 133,14**		**R$ 150,95**

4. Corte	**Custo/hora**	**Horas/arvore**	**Árvores**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**
Harvester	178,05	0,0062	1.300,00	8,00	R$ 1.424,39
Forwarder	164,46	0,0056	1.300,00	7,22	R$ 1.188,14
Total					**R$ 2.612,53**

5. Transporte	**Custo/ton**	**m3**	**ton**	**Custo/ha**
Frete - rodotrem cap 49 ton	46,94	269,10	253,82	R$ 11.914,08
Total				**R$ 11.914,08**

Obs.: Teor de umidade 34% e densidade básica 943,2 kg/m3 (Almeida et al., 2014)

6. Custo total por ano		**R$ 3.064,45**		**R$ 355,23**		**R$ 146,99**		**R$ 440,96**		**R$ 14.780,17**

7. Composição do custo total			
1. Mecanização	R$	1.387,65	7,39%
2. Insumos	R$	2.283,40	12,15%
3. Mão de obra	R$	590,14	3,14%
4. Corte	R$	2.612,53	13,91%
5. Transporte	R$	11.914,08	63,41%
Total	**R$**	**18.787,80**	

APÊNDICE 6 – Custeio da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare). (continuação)

Custos de produção - Eucalipto para madeira serrada MIN

		Ano 01		Ano 02		Ano 03		Ano 04		Ano 05		Ano 06		Ano 07		Ano 08/09/10/11/12/13		Ano 14		Ano 15/16/17/18/19/20		Ano 21	
1. Mecanização	**Custo/hora**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**
Pá carregadeira - limpeza	78,61	1,50	117,91																				
Pulverizador em barra acoplado ao trator	56,04	0,90	50,44																				
Calcareadeira acoplada ao trator	57,50	0,30	17,25																				
Grade aradora acoplada ao trator	81,64	1,50	122,47																				
Subsolador acoplado ao trator	67,47	2,00	134,94																				
Pá carregadeira - aceros (abertura 2 horas, manutenção 1 hora)	78,61	2,00	157,21	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	6,00	471,64	1,00	78,61	6,00	471,64	1,00	78,61
Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator	73,97	1,33	98,38																				
Pulverizador em linha acoplado ao trator	58,37	1,80	105,07	1,2	70,04																		
Adubadeira acoplada ao trator	70,50	0,60	42,30																				
Motopoda	5,50	70,00	385,00	70,00	385,00	70,00	385,00																
Total			**R$ 1.230,96**		**R$ 533,65**		**R$ 463,61**		**R$ 78,61**		**R$ 78,61**		**R$ 78,61**		**R$ 78,61**		**R$ 471,64**		**R$ 78,61**		**R$ 471,64**		**R$ 78,61**

2. Insumos	**Preço**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**
Formicida (Mirex Max - Sulfuramida) (kg)	8,00	8	64,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	18	144,00	3	24,00	18	144,00	3	24,00
Calcário (kg)	0,08	2000	160,00																				
Herbicida Pós-emergente, glifosato (l)	11,00	7	77,00	4	44,00																		
Herbicida Pré-emergente (Isoxaflultole) (kg)	833,33	0,15	125,00																				
Fertilizante 12-20-16 - plantio (kg)	1,33	300	399,00																				
Fertilizante 10-00-30 - cobertura (kg)	0,95	300	285,00																				
Polímero hidrogel (g)	0,12	4667,6	548,44																				
Fungicida Priori Xtra (l)	143,00			0,6	85,80																		
Mudas (+ 10% replantio)	0,33	1834	605,22																				
Total			**R$ 2.263,66**		**R$ 153,80**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 144,00**		**R$ 24,00**		**R$ 144,00**		**R$ 24,00**

3. Mão de obra	**Custo/homem/hora**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**
Operações mecanizadas - Preparo do solo, plantio e manejo	7,00	81,93	573,51	72,20	505,40	71,00	497,00	1,00	7,00	1,00	7,00	1,00	7,00	1,00	7,00	6,00	42,00	1,00	7,00	6,00	42,00	1,00	7,00
Operações mecanizadas - Desbastes e corte	7,00													7,87	55,09			4,72	33,04			7,08	49,56
Operações manuais - Replantio (68,75 mudas/homem/hora) = 167 mudas	7,00	2,43	17,00																				
Operações manuais - Controle de formigas (2,67 horas/homem/aplicação)	7,00	16,02	112,14	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	32,04	224,28	5,34	37,38	32,04	224,28	5,34	37,38
Total			**R$ 702,65**		**R$ 542,78**		**R$ 534,38**		**R$ 44,38**		**R$ 44,38**		**R$ 44,38**		**R$ 99,47**		**R$ 266,28**		**R$ 77,42**		**R$ 266,28**		**R$ 93,94**

4. Desbastes e corte	**Custo/hora**	**Horas/ arvore**	**Árvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**	**Horas/ arvore**	**Árvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**	**Horas/ arvore**	**Árvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**
Harvester	178,05	0,0062	667,00	4,14	736,30	0,0062	400,00	2,48	441,56	0,0062	600,00	3,72	662,34
Forwarder	164,46	0,0056	667,00	3,74	614,29	0,0056	400,00	2,24	368,39	0,0056	600,00	3,36	552,58
Total					**R$ 1.350,59**				**R$ 809,95**				**R$ 1.214,92**

5. Transporte	**Custo/ton**	**m3**	**ton**	**Custo/ha**	**m3**	**ton**	**Custo/ha**	**m3**	**ton**	**Custo/ha**
Frete - rodotrem cap 49 ton	46,94	99,90	94,23	R$ 4.422,95	141,00	132,9 9	R$ 6.242,61	428,10	403,7 8	R$ 18.953,62
Total				**R$ 4.422,95**			**R$ 6.242,61**			**R$ 18.953,62**

Obs.: Teor de umidade 34% e densidade básica 943,2 kg/m3 (Almeida et al., 2014)

6. Custo total por ano(s)	**R$ 4.197,28**	**R$ 1.230,23**	**R$ 1.021,99**	**R$ 146,99**	**R$ 146,99**	**R$ 146,99**	**R$ 5.975,62**	**R$ 881,92**	**R$ 7.232,58**	**R$ 881,92**	**R$ 20.365,09**

7. Composição do custo total		
1. Mecanização	R$ 3.643,14	8,63%
2. Insumos	R$ 2.873,46	6,80%
3. Mão de obra	R$ 2.716,35	6,43%
4. Desbastes e corte	R$ 3.375,46	7,99%
5. Transporte	R$ 29.619,18	70,14 %
Total	**R$ 42.227,59**	

APÊNDICE 6 – Custeio da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare). (continuação)

Custos de produção - Eucalipto para madeira serrada MÉD

		Ano 01		Ano 02		Ano 03		Ano 04		Ano 05		Ano 06		Ano 07		Ano 08/09/10/11/12/13		Ano 14		Ano 15/16/17/18/19/20		Ano 21	
1. Mecanização	**Custo/hora**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/ maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**
Pá carregadeira - limpeza	78,61	1,50	117,91																				
Pulverizador em barra acoplado ao trator	56,04	0,90	50,44																				
Calcareadeira acoplada ao trator	57,50	0,30	17,25																				
Grade aradora acoplada ao trator	81,64	1,50	122,47																				
Subsolador acoplado ao trator	67,47	2,00	134,94																				
Pá carregadeira - aceros (abertura 2 horas, manutenção 1 hora)	78,61	2,00	157,21	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	6,00	471,64	1,00	78,61	6,00	471,64	1,00	78,61
Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator	73,97	1,33	98,38																				
Pulverizador em linha acoplado ao trator	58,37	1,80	105,07	1,2	70,04																		
Adubadeira acoplada ao trator	70,50	0,60	42,30																				
Motopoda	5,50	70,00	385,00	70,00	385,00	70,00	385,00																
Total			**R$ 1.230,96**		**R$ 533,65**		**R$ 463,61**		**R$ 78,61**		**R$ 78,61**		**R$ 78,61**		**R$ 78,61**		**R$ 471,64**		**R$ 78,61**		**R$ 471,64**		**R$ 78,61**
2. Insumos	**Preço**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo R$/Ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**
Formicida (Mirex Max - Sulfuramida) (kg)	8,00	8	64,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	18	144,00	3	24,00	18	144,00	3	24,00
Calcário (kg)	0,08	2000	160,00																				
Herbicida Pós-emergente, glifosato (l)	11,00	7	77,00	4	44,00																		
Herbicida Pré-emergente (Isoxaflultole) (kg)	833,33	0,15	125,00																				
Fertilizante 12-20-16 - plantio (kg)	1,33	300	399,00																				
Fertilizante 10-00-30 - cobertura (kg)	0,95	300	285,00																				
Polímero hidrogel (g)	0,12	4667,6	548,44																				
Fungicida Priori Xtra (l)	143,00			0,6	85,80																		
Mudas (+ 10% replantio)	0,33	1834	605,22																				
Total			**R$ 2.263,66**		**R$ 153,80**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 144,00**		**R$ 24,00**		**R$ 144,00**		**R$ 24,00**
3. Mão de obra	**Custo/homem/ hora**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**
Operações mecanizadas - Preparo do solo, plantio e manejo	7,00	81,93	573,51	72,20	505,40	71,00	497,00	1,00	7,00	1,00	7,00	1,00	7,00	1,00	7,00	6,00	42,00	1,00	7,00	6,00	42,00	1,00	7,00
Operações mecanizadas - Desbastes e corte	7,00													7,87	55,09			4,72	33,04			7,08	49,56
Operações manuais - Replantio (68,75 mudas/homem/hora) = 167 mudas	7,00	2,43	17,00																				
Operações manuais - Controle de formigas (2,67 horas/homem/aplicação)	7,00	16,02	112,14	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	32,04	224,28	5,34	37,38	32,04	224,28	5,34	37,38
Total			**R$ 702,65**		**R$ 542,78**		**R$ 534,38**		**R$ 44,38**		**R$ 44,38**		**R$ 44,38**		**R$ 99,47**		**R$ 266,28**		**R$ 77,42**		**R$ 266,28**		**R$ 93,94**
4. Desbastes e corte	**Custo/hora**											**Horas/ arvore**	**Árvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**	**Horas/ arvore**	**Árvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**	**Horas/arvore**	**Árvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**
Harvester	178,05											0,0062	667,00	4,14	736,30	0,0062	400,00	2,48	441,56	0,0062	600,00	3,72	662,34
Forwarder	164,46											0,0056	667,00	3,74	614,29	0,0056	400,00	2,24	368,39	0,0056	600,00	3,36	552,58
Total															**R$ 1.350,59**				**R$ 809,95**				**R$ 1.214,92**
5. Transporte	**Custo/ton**												**m3**	**ton**	**Custo/ha**		**m3**	**ton**	**Custo/ha**		**m3**	**ton**	**Custo/ha**
Frete - rodotrem cap 49 ton	46,94												109,50	103,28	R$ 4.847,98		156,40	147,52	R$ 6.924,42		470,50	443,78	R$ 20.830,83
Total															**R$ 4.847,98**				**R$ 6.924,42**				**R$ 20.830,83**
Obs.: Teor de umidade 34% e densidade básica 943,2 kg/m3 (Almeida et al., 2014)																							
6. Custo total por ano(s)			**R$ 4.197,28**		**R$ 1.230,23**		**R$ 1.021,99**		**R$ 146,99**		**R$ 146,99**		**R$ 146,99**		**R$ 6.400,65**		**R$ 881,92**		**R$ 7.914,40**		**R$ 881,92**		**R$ 22.242,30**

7. Composição do custo total	
1. Mecanização	R$ 3.643,14
2. Insumos	R$ 2.873,46
3. Mão de obra	R$ 2.716,35
4. Desbastes e corte	R$ 3.375,46
5. Transporte	R$ 32.603,23
Total	**R45.211,64**

APÊNDICE 6 – Custeio da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare). (continuação)

Custos de produção - Eucalipto para madeira serrada MÁX

1. Mecanização	Custo/hora	Ano 01 Hora/maq	Ano 01 Custo/ha	Ano 02 Hora/maq	Ano 02 Custo/ha	Ano 03 Hora/maq	Ano 03 Custo/ha	Ano 04 Hora/maq	Ano 04 Custo/ha	Ano 05 Hora/maq	Ano 05 Custo/ha	Ano 06 Hora/maq	Ano 06 Custo/ha	Ano 07 Hora/maq	Ano 07 Custo/ha	Ano 08/09/10/11/12/13 Hora/maq	Ano 08/09/10/11/12/13 Custo/ha	Ano 14 Hora/maq	Ano 14 Custo/ha	Ano 15/16/17/18/19/20 Hora/maq	Ano 15/16/17/18/19/20 Custo/ha	Ano 21 Hora/maq	Ano 21 Custo/ha
Pá carregadeira - limpeza	78,61	1,50	117,91																				
Pulverizador em barra acoplado ao trator	56,04	0,90	50,44																				
Calcareadeira acoplada ao trator	57,50	0,30	17,25																				
Grade aradora acoplada ao trator	81,64	1,50	122,47																				
Subsolador acoplado ao trator	67,47	2,00	134,94																				
Pá carregadeira - aceros (abertura 2 horas, manutenção 1 hora)	78,61	2,00	157,21	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	6,00	471,64	1,00	78,61	6,00	471,64	1,00	78,61
Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator	73,97	1,33	98,38																				
Pulverizador em linha acoplado ao trator	58,37	1,80	105,07	1,2	70,04																		
Adubadeira acoplada ao trator	70,50	0,60	42,30																				
Motopoda	5,50	70,00	385,00	70,00	385,00	70,00	385,00																
Total			**R$ 1.230,96**		**R$ 533,65**		**R$ 463,61**		**R$ 78,61**		**R$ 78,61**		**R$ 78,61**		**R$ 78,61**		**R$ 471,64**		**R$ 78,61**		**R$ 471,64**		**R$ 78,61**

2. Insumos	Preço	Qtde	Ano 01 Custo/ha	Qtde	Ano 02 Custo/ha	Qtde	Ano 03 Custo/ha	Qtde	Ano 04 Custo/ha	Qtde	Ano 05 Custo/ha	Qtde	Ano 06 Custo/ha	Qtde	Ano 07 Custo/ha	Qtde	Ano 08/09/10/11/12/13 Custo/ha	Qtde	Ano 14 Custo/ha	Qtde	Ano 15/16/17/18/19/20 Custo/ha	Qtde	Ano 21 Custo/ha
Formicida (Mirex Max - Sulfuramida) (kg)	8,00	8	64,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	18	144,00	3	24,00	18	144,00	3	24,00
Calcário (kg)	0,08	2000	160,00																				
Herbicida Pós-emergente, glifosato (l)	11,00	7	77,00	4	44,00																		
Herbicida Pré-emergente (Isoxaflultole) (kg)	833,33	0,15	125,00																				
Fertilizante 12-20-16 - plantio (kg)	1,33	300	399,00																				
Fertilizante 10-00-30 - cobertura (kg)	0,95	300	285,00																				
Polímero hidrogel (g)	0,12	4667,6	548,44																				
Fungicida Priori Xtra (l)	143,00			0,6	85,80																		
Mudas (+ 10% replantio)	0,33	1834	605,22																				
Total			**R$ 2.263,66**		**R$ 153,80**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 144,00**		**R$ 24,00**		**R$ 144,00**		**R$ 24,00**

3. Mão de obra	Custo/homem/hora	Qtde - horas	Ano 01 Custo/ha	Qtde - horas	Ano 02 Custo/ha	Qtde - horas	Ano 03 Custo/ha	Qtde - horas	Ano 04 Custo/ha	Qtde - horas	Ano 05 Custo/ha	Qtde - horas	Ano 06 Custo/ha	Qtde - horas	Ano 07 Custo/ha	Qtde - horas	Ano 08/09/10/11/12/13 Custo/ha	Qtde - horas	Ano 14 Custo/ha	Qtde - horas	Ano 15/16/17/18/19/20 Custo/ha	Qtde - horas	Ano 21 Custo/ha
Operações mecanizadas - Preparo do solo, plantio e manejo	7,00	81,93	573,51	72,20	505,40	71,00	497,00	1,00	7,00	1,00	7,00	1,00	7,00	1,00	7,00	6,00	42,00	1,00	7,00	6,00	42,00	1,00	7,00
Operações mecanizadas - Desbastes e corte	7,00													7,87	55,09			4,72	33,04			7,08	49,56
Operações manuais - Replantio (68,75 mudas/homem/hora) = 167 mudas	7,00	2,43	17,00																				
Operações manuais - Controle de formigas (2,67 horas/homem/aplicação)	7,00	16,02	112,14	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	32,04	224,28	5,34	37,38	32,04	224,28	5,34	37,38
Total			**R$ 702,65**		**R$ 542,78**		**R$ 534,38**		**R$ 44,38**		**R$ 44,38**		**R$ 44,38**		**R$ 99,47**		**R$ 266,28**		**R$ 77,42**		**R$ 266,28**		**R$ 93,94**

4. Desbastes e corte	Custo/hora	Horas/arvore	Árvores	Qtde-horas	Ano 06 Custo/ha	Horas/arvore	Árvores	Qtde-horas	Ano 07 Custo/ha	Horas/arvore	Árvores	Qtde-horas	Ano 08/09/10/11/12/13 Custo/ha	Horas/arvore	Árvores	Qtde-horas	Ano 14 Custo/ha	Horas/arvore	Árvores	Qtde-horas	Ano 15/16/17/18/19/20 Custo/ha	Horas/arvore	Árvores	Qtde-horas	Ano 21 Custo/ha
Harvester	178,05	0,0062	667,00	4,14	736,30					0,0062	400,00	2,48	441,56					0,0062	600,00	3,72	662,34				
Forwarder	164,46	0,0056	667,00	3,74	614,29					0,0056	400,00	2,24	368,39					0,0056	600,00	3,36	552,58				
Total					**R$ 1.350,59**								**R$ 809,95**								**R$ 1.214,92**				

5. Transporte	Custo/ton	m3	ton	Ano 06 Custo/ha	m3	ton	Ano 07 Custo/ha	m3	ton	Ano 08/09/10/11/12/13 Custo/ha	m3	ton	Ano 14 Custo/ha	m3	ton	Ano 15/16/17/18/19/20 Custo/ha	m3	ton	Ano 21 Custo/ha
Frete - rodotrem cap 49 ton	46,94	119,10	112,34	R$ 5.273,01							172,00	162,23	R$ 7.615,09				512,30	483,20	R$ 22.681,47
Total				**R$ 5.273,01**									**R$ 7.615,09**						**R$ 22.681,47**

Obs.: Teor de umidade 34% e densidade básica 943,2 kg/m3 (Almeida et al., 2014)

6. Custo total por ano(s)	Ano 01	Ano 02	Ano 03	Ano 04	Ano 05	Ano 06	Ano 07	Ano 08/09/10/11/12/13	Ano 14	Ano 15/16/17/18/19/20	Ano 21
	R$ 4.197,28	**R$ 1.230,23**	**R$ 1.021,99**	**R$ 146,99**	**R$ 146,99**	**R$ 146,99**	**R$ 6.825,68**	**R$ 881,92**	**R$ 8.605,07**	**R$ 881,92**	**R$ 24.092,94**

7. Composição do custo total		
1. Mecanização	R$ 3.643,14	7,56%
2. Insumos	R$ 2.873,46	5,96%
3. Mão de obra	R$ 2.716,35	5,64%
4. Desbastes e corte	R$ 3.375,46	7,01%
5. Transporte	R$ 35.569,58	73,83%
Total	**R$ 48.177,99**	

APÊNDICE 6 – Custeio da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare). (continuação)

Custos de produção - Pinus para celulose MÍN

		Ano 01		Ano 02		Ano 03		Ano 04-14		Ano 15	
1. Mecanização	**Custo/hora**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**
Pá carregadeira - limpeza	78,61	1,50	117,91								
Pulverizador em barra acoplado ao trator	56,04	0,90	50,44								
Calcareadeira acoplada ao trator	57,50	0,30	17,25								
Grade aradora acoplada ao trator	81,64	1,50	122,47								
Subsolador acoplado ao trator	67,47	2,00	134,94								
Pá carregadeira - aceros (abertura 2 horas, manutenção 1 hora)	78,61	2,00	157,21	1,00	78,61	1,00	78,61	11,00	864,67	1,00	78,61
Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator	73,97	1,33	98,38								
Pulverizador em linha acoplado ao trator	58,37	1,80	105,07	1,2	70,04						
Adubadeira acoplada ao trator	70,50	0,60	42,30								
Total			**R$ 845,96**		**R$ 148,65**		**R$ 78,61**		**R$ 864,67**		**R$ 78,61**

2. Insumos	**Preço**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**
Formicida (Mirex Max - Sulfuramida) (kg)	8,00	8	64,00	3	24,00	3	24,00	33	264,00	3	24,00
Calcário (kg)	0,08	1500	120,00								
Herbicida Pós-emergente, glifosato (l)	11,00	7	77,00	4	44,00						
Herbicida Pré-emergente (Isoxaflultole) (kg)	833,33	0,15	125,00								
Fertilizante 12-20-22 - plantio (kg)	1,33	150	199,50								
Fertilizante 10-00-40 - cobertura (kg)	0,95	150	142,50								
Polímero hidrogel (g)	0,12	6221,6	731,04								
Fungicida Priori Xtra (l)	143,00			0,6	85,80						
Mudas (+ 10% replantio)	0,25	2444	611,00								
Total			**R$ 2.070,04**		**R$ 153,80**		**R$ 24,00**		**R$ 264,00**		**R$ 24,00**

3. Mão de obra	**Custo/homem/hora**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**
Operações mecanizadas - Preparo do solo, plantio e manejo	7,00	11,93	83,51	2,20	15,40	1,00	7,00	11,00	77,00	1,00	7,00
Operações mecanizadas - Corte	7,00									26,22	183,54
Operações manuais - Replantio (68,75 mudas/homem/hora) = 222 mudas	7,00	3,23	22,60								
Operações manuais - Controle de formigas (2,67 horas/homem/aplicação)	7,00	16,02	112,14	5,34	37,38	5,34	37,38	58,74	411,18	5,34	37,38
Total			**R$ 218,25**		**R$ 52,78**		**R$ 44,38**		**R$ 488,18**		**R$ 227,92**

4. Corte	**Custo/hora**	**Horas/arvore**	**Árvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**
Harvester	178,05	0,0062	2.222,00	13,78	2.452,87
Forwarder	164,46	0,0056	2.222,00	12,44	2.046,39
Total					**R$ 4.499,26**

5. Transporte	**Custo/ton**	**m3**	**ton**	**Custo/ha**
Frete - rodotrem capacidade 49 ton	46,94	398,20	207,06	R$ 9.719,58
Total				**R$ 9.719,58**

Obs.: Teor de umidade 86,65% e densidade básica 520 kg/m3 (Almeida et al., 2014)

6. Custo total por ano(s)	**R$ 3.134,25**	**R$ 355,23**	**R$ 146,99**	**R$ 1.616,85**	**R$ 14.549,37**

7. Composição do custo total			
1. Mecanização	R$	2.016,50	10,18%
2. Insumos	R$	2.535,84	12,81%
3. Mão de obra	R$	1.031,51	5,21%
4. Corte	R$	4.499,26	22,72%
5. Transporte	R$	9.719,58	49,08%
Total	**R$**	**19.802,69**	

APÊNDICE 6 – Custeio da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare). (continuação)

Custos de produção - Pinus para celulose MÉD

		Ano 01		Ano 02		Ano 03		Ano 04-14		Ano 15	
1. Mecanização	**Custo/hora**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**
Pá carregadeira - limpeza	78,61	1,50	117,91								
Pulverizador em barra acoplado ao trator	56,04	0,90	50,44								
Calcareadeira acoplada ao trator	57,50	0,30	17,25								
Grade aradora acoplada ao trator	81,64	1,50	122,47								
Subsolador acoplado ao trator	67,47	2,00	134,94								
Pá carregadeira - aceros (abertura 2 horas, manutenção 1 hora)	78,61	2,00	157,21	1,00	78,61	1,00	78,61	11,00	864,67	1,00	78,61
Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator	73,97	1,33	98,38								
Pulverizador em linha acoplado ao trator	58,37	1,80	105,07	1,2	70,04						
Adubadeira acoplada ao trator	70,50	0,60	42,30								
Total			**R$ 845,96**		**R$ 148,65**		**R$ 78,61**		**R$ 864,67**		**R$ 78,61**

2. Insumos	**Preço**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**
Formicida (Mirex Max - Sulfuramida) (kg)	8,00	8	64,00	3	24,00	3	24,00	33	264,00	3	24,00
Calcário (kg)	0,08	1500	120,00								
Herbicida Pós-emergente, glifosato (l)	11,00	7	77,00	4	44,00						
Herbicida Pré-emergente (Isoxaflultole) (kg)	833,33	0,15	125,00								
Fertilizante 12-20-22 - plantio (kg)	1,33	150	199,50								
Fertilizante 10-00-40 - cobertura (kg)	0,95	150	142,50								
Polímero hidrogel (g)	0,12	6221,6	731,04								
Fungicida Priori Xtra (l)	143,00			0,6	85,80						
Mudas (+ 10% replantio)	0,25	2444	611,00								
Total			**R$ 2.070,04**		**R$ 153,80**		**R$ 24,00**		**R$ 264,00**		**R$ 24,00**

3. Mão de obra	**Custo/homem/hora**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**
Operações mecanizadas - Preparo do solo, plantio e manejo	7,00	11,93	83,51	2,20	15,40	1,00	7,00	11,00	77,00	1,00	7,00
Operações mecanizadas - Corte	7,00									26,22	183,54
Operações manuais - Replantio (68,75 mudas/homem/hora) = 222 mudas	7,00	3,23	22,60								
Operações manuais - Controle de formigas (2,67 horas/homem/aplicação)	7,00	16,02	112,14	5,34	37,38	5,34	37,38	58,74	411,18	5,34	37,38
Total			**R$ 218,25**		**R$ 52,78**		**R$ 44,38**		**R$ 488,18**		**R$ 227,92**

4. Corte	**Custo/hora**	**Horas/arvore**	**Árvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**
Harvester	178,05	0,0062	2.222,00	13,78	2.452,87
Forwarder	164,46	0,0056	2.222,00	12,44	2.046,39
Total					**R$ 4.499,26**

5. Transporte	**Custo/ton**	**m3**	**ton**	**Custo/ha**
Frete - rodotrem capacidade 49 ton	46,94	453,30	235,72	R$ 11.064,51
Total				**R$ 11.064,51**

Obs.: Teor de umidade 86,65% e densidade básica 520 kg/m3 (Almeida et al., 2014)

6. Custo total por ano(s)	**R$ 3.134,25**	**R$ 355,23**	**R$ 146,99**	**R$ 1.616,85**	**R$ 15.894,29**

7. Composição do custo total			
1. Mecanização	R$	2.016,50	9,54%
2. Insumos	R$	2.535,84	11,99%
3. Mão de obra	R$	1.031,51	4,88%
4. Corte	R$	4.499,26	21,28%
5. Transporte	R$	11.064,51	52,32%
Total	**R$**	**21.147,62**	

APÊNDICE 6 – Custeio da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare). (continuação)

Custos de produção - Pinus para celulose MÁX

		Ano 01		Ano 02		Ano 03		Ano 04-14		Ano 15	
1. Mecanização	**Custo/hora**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**
Pá carregadeira - limpeza	78,61	1,50	117,91								
Pulverizador em barra acoplado ao trator	56,04	0,90	50,44								
Calcareadeira acoplada ao trator	57,50	0,30	17,25								
Grade aradora acoplada ao trator	81,64	1,50	122,47								
Subsolador acoplado ao trator	67,47	2,00	134,94								
Pá carregadeira - aceros (abertura 2 horas, manutenção 1 hora)	78,61	2,00	157,21	1,00	78,61	1,00	78,61	11,00	864,67	1,00	78,61
Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator	73,97	1,33	98,38								
Pulverizador em linha acoplado ao trator	58,37	1,80	105,07	1,2	70,04						
Adubadeira acoplada ao trator	70,50	0,60	42,30								
Total			**R$ 845,96**		**R$ 148,65**		**R$ 78,61**		**R$ 864,67**		**R$ 78,61**

2. Insumos	**Preço**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**
Formicida (Mirex Max - Sulfuramida) (kg)	8,00	8	64,00	3	24,00	3	24,00	33	264,00	3	24,00
Calcário (kg)	0,08	1500	120,00								
Herbicida Pós-emergente, glifosato (l)	11,00	7	77,00	4	44,00						
Herbicida Pré-emergente (Isoxaflultole) (kg)	833,33	0,15	125,00								
Fertilizante 12-20-22 - plantio (kg)	1,33	150	199,50								
Fertilizante 10-00-40 - cobertura (kg)	0,95	150	142,50								
Polímero hidrogel (g)	0,12	6221,6	731,04								
Fungicida Priori Xtra (l)	143,00			0,6	85,80						
Mudas (+ 10% replantio)	0,25	2444	611,00								
Total			**R$ 2.070,04**		**R$ 153,80**		**R$ 24,00**		**R$ 264,00**		**R$ 24,00**

3. Mão de obra	**Custo/homem/hora**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**
Operações mecanizadas - Preparo do solo, plantio e manejo	7,00	11,93	83,51	2,20	15,40	1,00	7,00	11,00	77,00	1,00	7,00
Operações mecanizadas - Corte	7,00									26,22	183,54
Operações manuais - Replantio (68,75 mudas/homem/hora) = 222 mudas	7,00	3,23	22,60								
Operações manuais - Controle de formigas (2,67 horas/homem/aplicação)	7,00	16,02	112,14	5,34	37,38	5,34	37,38	58,74	411,18	5,34	37,38
Total/ha			**R$ 218,25**		**R$ 52,78**		**R$ 44,38**		**R$ 488,18**		**R$ 227,92**

4. Corte	**Custo/hora**	**Horas/arvore**	**Árvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**
Harvester	178,05	0,0062	2.222,00	13,78	2.452,87
Forwarder	164,46	0,0056	2.222,00	12,44	2.046,39
Total/ ha					**R$ 4.499,26**

5. Transporte	**Custo/ton**	**m3**	**ton**	**Custo/ha**
Frete - rodotrem capacidade 49 ton	46,94	508,00	264,16	R$ 12.399,67
Total/ ha				**R$ 12.399,67**

Obs.: Teor de umidade 86,65% e densidade básica 520 kg/m3 (Almeida et al., 2014)

6. Custo total por ano(s)	**R$ 3.134,25**	**R$ 355,23**	**R$ 146,99**	**R$ 1.616,85**	**R$ 17.229,45**

7. Composição do custo total			
1. Mecanização	R$	2.016,50	8,97%
2. Insumos	R$	2.535,84	11,28%
3. Mão de obra	R$	1.031,51	4,59%
4. Corte	R$	4.499,26	20,01%
5. Transporte	R$	12.399,67	55,15%
Total	**R$**	**22.482,78**	

APÊNDICE 6 – Custeio da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare). (continuação)

Custos de produção - Pinus para madeira serrada MIN

1. Mecanização	Custo/hora	Ano 01 Hora/maq	Ano 01 Custo/ha	Ano 02 Hora/maq	Ano 02 Custo/ha	Ano 03 Hora/maq	Ano 03 Custo/ha	Ano 4 Hora/maq	Ano 4 Custo/ha	Ano 5 Hora/maq	Ano 5 Custo/ha	Ano 6 Hora/maq	Ano 6 Custo/ha	Ano 7 Hora/maq	Ano 7 Custo/ha	Ano 8 Hora/maq	Ano 8 Custo/ha	Ano 9/10/11 Hora/maq	Ano 9/10/11 Custo/ha	Ano 12 Hora/maq	Ano 12 Custo/ha	Ano 13/14/15 Hora/maq	Ano 13/14/15 Custo/ha	Ano 16 Hora/maq	Ano 16 Custo/ha	Ano 17/18/19/20 Hora/maq	Ano 17/18/19/20 Custo/ha	Ano 21 Hora/maq	Ano 21 Custo/ha
Pá carregadeira - limpeza	78,61	1,50	117,91																										
Pulverizador em barra acoplado ao trator	56,04	0,90	50,44																										
Calcareadeira acoplada ao trator	57,50	0,30	17,25																										
Grade aradora acoplada ao trator	81,64	1,50	122,47																										
Subsolador acoplado ao trator	67,47	2,00	134,94																										
Pá carregadeira - aceros (abertura 2 horas, manutenção 1 hora)	78,61	2,00	157,21	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	3,00	235,82	1,00	78,61	3,00	235,82	1,00	78,61	4,00	314,43	1,00	78,61
Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator	73,97	1,33	98,38																										
Pulverizador em linha acoplado ao trator	58,37	1,80	105,07	1,2	70,04																								
Adubadeira acoplada ao trator	70,50	0,60	42,30																										
Motopoda	5,50							70,00	385,00			70,00	385,00			70,00	385,00												
Total			**R$ 845,96**		**R$ 148,65**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 235,82**		**R$ 78,61**		**R$ 235,82**		**R$ 78,61**		**R$ 314,43**		**R$ 78,61**

2. Insumos	Preço	Qtde	Custo/ha	Qtde	Custo/ha	Qtde	Custo/ha	Qtde	Custo/ha	Qtde	Custo/ha	Qtde	Custo/ha	Qtde	Custo/ha	Qtde	Custo/ha	Qtde	Custo/ha	Qtde	Custo/ha	Qtde	Custo/ha	Qtde	Custo/ha	Qtde	Custo/ha	Qtde	Custo/ha
Formicida (Mirex Max - Sulfuramida) (kg)	8,00	8	64,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3,00	24,00	3	24,00	9	72,00	3	24,00	9	72,00	3	24,00	12	96,00	3	24,00
Calcário (kg)	0,08	1500	120,00																										
Herbicida Pós-emergente, glifosato (l)	11,00	7	77,00	4	44,00																								
Herbicida Pré-emergente (Isoxaflutole) (kg)	833,33	0,15	125,00																										
Fertilizante 12-20-22 - plantio (kg)	1,33	150	199,50																										
Fertilizante 10-00-40 - cobertura (kg)	0,95	150	142,50																										
Polímero hidrogel (g)	0,12	4667,6	548,44																										
Fungicida Priori Xtra (l)	143,00			0,6	85,80																								
Mudas (+ 10% replantio)	0,35	1834	641,90																										
Total			**R$ 1.918,34**		**R$ 153,80**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 72,00**		**R$ 24,00**		**R$ 72,00**		**R$ 24,00**		**R$ 96,00**		**R$ 24,00**

3. Mão de obra	Custo/homem/hora	Qtde - horas	Custo/ha	Qtde - horas	Custo/ha	Qtde - horas	Custo/ha	Qtde - horas	Custo/ha	Qtde - horas	Custo/ha	Qtde - horas	Custo/ha	Qtde - horas	Custo/ha	Qtde - horas	Custo/ha	Qtde - horas	Custo/ha	Qtde - horas	Custo/ha	Qtde - horas	Custo/ha	Qtde - horas	Custo/ha	Qtde - horas	Custo/ha	Qtde - horas	Custo/ha
Operações mecanizadas - Preparo do solo, plantio e manejo	7,00	11,93	83,51	2,20	15,40	1,00	7,00	71,00	497,00	1,00	7,00	71,00	497,00	1,00	7,00	71,00	497,00	3,00	21,00	1,00	7,00	3,00	21,00	1,00	7,00	4,00	28,00	1,00	7,00
Operações mecanizadas - Corte	7,00															7,87	55,09			3,54	24,78			3,54	24,78			4,72	33,04
Operações manuais - Replantio (68,75 mudas/homem/hora) = 167 mudas	7,00	2,43	17,00																										
Operações manuais - Controle de formigas (2,67 horas/homem/aplicação)	7,00	16,02	112,14	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	16,02	112,14	5,34	37,38	16,02	112,14	5,34	37,38	21,36	149,52	5,34	37,38
Total			**R$ 212,65**		**R$ 52,78**		**R$ 44,38**		**R$ 534,38**		**R$ 44,38**		**R$ 534,38**		**R$ 44,38**		**R$ 589,47**		**R$ 133,14**		**R$ 69,16**		**R$ 133,14**		**R$ 69,16**		**R$ 177,52**		**R$ 77,42**

4. Desbastes e corte	Custo/hora	Horas/arvore	Árvores			Qtde-horas	Custo/ha	Horas/arvore	Árvores	Qtde-horas	Custo/ha	Horas/arvore	Árvores	Qtde-horas	Custo/ha	Horas/arvore	Árvores	Qtde-horas	Custo/ha	Horas/arvore	Árvores	Qtde-horas	Custo/ha
Harvester (colheita sem casca)	178,05	0,0062	667,00			4,14	178,05	0,0062	300,00	1,86	331,17	0,0062	300,00	1,86	331,17	0,0062	400,00	2,48	441,56
Forwarder (Baldeio e carregamento)	164,46	0,0056	667,00			3,74	614,29	0,0056	300,00	1,68	276,29	0,0056	300,00	1,68	276,29	0,0056	400,00	2,24	368,39
Total							**R$ 792,33**				**R$ 607,46**				**R$ 607,46**				**R$ 809,95**

5. Transporte	Custo/ton	m3			ton	Custo/ha		m3	ton	Custo/ha		m3	ton	Custo/ha		m3	ton	Custo/ha
Frete - rodotrem capacidade 49 ton	46,94	53,10			27,61	R$ 1.296,11		65,00	33,80	R$ 1.586,57		124,60	64,79	R$ 3.041,34		321,00	166,92	R$ 7.835,22
Total						**R$ 1.296,11**				**R$ 1.586,57**				**R$ 3.041,34**				**R$ 7.835,22**

Obs.: Teor de umidade 86,65% e densidade básica 520 kg/m3 (Almeida et al., 2014)

6. Custo total por ano(s)	Ano 01	Ano 02	Ano 03	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9/10/11	Ano 12	Ano 13/14/15	Ano 16	Ano 17/18/19/20	Ano 21
	R$ 2.976,96	**R$ 355,23**	**R$ 146,99**	**R$ 1.021,99**	**R$ 146,99**	**R$ 1.021,99**	**R$ 146,99**	**R$ 3.165,52**	**R$ 440,96**	**R$ 2.365,80**	**R$ 440,96**	**R$ 3.820,56**	**R$ 587,95**	**R$ 8.825,20**

7. Composição do custo total			
1. Mecanização	R$	3.643,14	14,31%
2. Insumos	R$	2.528,14	9,93%
3. Mão de obra	R$	2.716,35	10,67%
4. Desbastes e corte	R$	2.817,20	11,06%
5. Transporte	R$	13.759,24	54,03%
Total	**R$**	**25.464,08**	

APÊNDICE 6 – Custeio da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare). (continuação)

Custos de produção - Pinus para madeira serrada MÉD

		Ano 01		Ano 02		Ano 03		Ano 4		Ano 5		Ano 6		Ano 7		Ano 8		Ano 9/10/11		Ano 12		Ano 13/14/15		Ano 16		Ano 17/18/19/20		Ano 21	
1. Mecanização	**Custo/hora**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**
Pá carregadeira - limpeza	78,61	1,50	117,91																										
Pulverizador em barra acoplado ao trator	56,04	0,90	50,44																										
Calcareadeira acoplada ao trator	57,50	0,30	17,25																										
Grade aradora acoplada ao trator	81,64	1,50	122,47																										
Subsolador acoplado ao trator	67,47	2,00	134,94																										
Pá carregadeira - aceros (abertura 2 horas, manutenção 1 hora)	78,61	2,00	157,21	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	3,00	235,82	1,00	78,61	3,00	235,82	1,00	78,61	4,00	314,43	1,00	78,61
Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator	73,97	1,33	98,38																										
Pulverizador em linha acoplado ao trator	58,37	1,80	105,07	1,2	70,04																								
Adubadeira acoplada ao trator	70,50	0,60	42,30																										
Motopoda	5,50							70,00	385,00			70,00	385,00			70,00	385,00												
Total			**R$ 845,96**		**R$ 148,65**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 235,82**		**R$ 78,61**		**R$ 235,82**		**R$ 78,61**		**R$ 314,43**		**R$ 78,61**

2. Insumos	**Preço**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**
Formicida (Mirex Max - Sulfluramida) (kg)	8,00	8	64,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3,00	24,00	3	24,00	9	72,00	3	24,00	9	72,00	3	24,00	12	96,00	3	24,00
Calcário (kg)	0,08	1500	120,00																										
Herbicida Pós-emergente, glifosato (l)	11,00	7	77,00	4	44,00																								
Herbicida Pré-emergente (Isoxaflultole) (kg)	833,33	0,15	125,00																										
Fertilizante 12-20-22 - plantio (kg)	1,33	150	199,50																										
Fertilizante 10-00-40 - cobertura (kg)	0,95	150	142,50																										
Polímero hidrogel (g)	0,12	4667,6	548,44																										
Fungicida Priori Xtra (l)	143,00			0,6	85,80																								
Mudas (+ 10% replantio)	0,35	1834	641,90																										
Total			**R$ 1.918,34**		**R$ 153,80**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 72,00**		**R$ 24,00**		**R$ 72,00**		**R$ 24,00**		**R$ 96,00**		**R$ 24,00**

3. Mão de obra	**Custo/homem/hora**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**
Operações mecanizadas - Preparo do solo, plantio e manejo	7,00	11,93	83,51	2,20	15,40	1,00	7,00	71,00	497,00	1,00	7,00	71,00	497,00	1,00	7,00	71,00	497,00	3,00	21,00	1,00	7,00	3,00	21,00	1,00	7,00	4,00	28,00	1,00	7,00
Operações mecanizadas - Corte	7,00															7,87	55,09			3,54	24,78			3,54	24,78			4,72	33,04
Operações manuais - Replantio (68,75 mudas/homem/hora) = 167 mudas	7,00	2,43	17,00																										
Operações manuais - Controle de formigas (2,67 horas/homem/aplicação)	7,00	16,02	112,14	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	16,02	112,14	5,34	37,38	16,02	112,14	5,34	37,38	21,36	149,52	5,34	37,38
Total			**R$ 212,65**		**R$ 52,78**		**R$ 44,38**		**R$ 534,38**		**R$ 44,38**		**R$ 534,38**		**R$ 44,38**		**R$ 589,47**		**R$ 133,14**		**R$ 69,16**		**R$ 133,14**		**R$ 69,16**		**R$ 177,52**		**R$ 77,42**

4. Desbastes e corte	**Custo/hora**											**Horas/arvore**	**Árvores**			**Qtde-horas**	**Custo/ha**	**Horas/arvore**	**Árvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**	**Horas/arvore**	**Árvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**	**Horas/arvore**	**Árvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**
Harvester	178,05											0,0062	667,00			4,14	178,05	0,0062	300,00	1,86	331,17	0,0062	300,00	1,86	331,17	0,0062	400,00	2,48	441,56
Forwarder	164,46											0,0056	667,00			3,74	614,29	0,0056	300,00	1,68	276,29	0,0056	300,00	1,68	276,29	0,0056	400,00	2,24	368,39
Total																	**R$ 792,33**				**R$ 607,46**				**R$ 607,46**				**R$ 809,95**

5. Transporte	**Custo/ton**											**m3**	**ton**	**Custo/ha**		**m3**	**ton**	**Custo/ha**		**m3**	**ton**	**Custo/ha**		**m3**	**ton**	**Custo/ha**
Frete - rodotrem capacidade 49 ton	46,94											61,20	31,82	R$ 1.493,82		73,90	38,43	R$ 1.803,81		140,40	73,01	R$ 3.427,00		360,00	187,20	R$ 8.787,17
Total														**R$ 1.493,82**				**R$ 1.803,81**				**R$ 3.427,00**				**R$ 8.787,17**

Obs.: Teor de umidade 86,65% e densidade básica 520 kg/m3 (Almeida et al., 2014)

6. Custo total por ano(s)		**R$ 2.976,96**	**R$ 355,23**	**R$ 146,99**	**R$ 1.021,99**	**R$ 146,99**	**R$ 1.021,99**	**R$ 146,99**	**R$ 3.363,23**	**R$ 440,96**	**R$ 2.583,04**	**R$ 440,96**	**R$ 4.206,22**	**R$ 587,95**	**R$ 9.777,14**

7. Composição do custo total			
1. Mecanização	R$	3.643,14	13,39%
2. Insumos	R$	2.528,14	9,29%
3. Mão de obra	R$	2.716,35	9,98%
4. Desbastes e corte	R$	2.817,20	10,35%
5. Transporte	R$	15.511,79	56,99%
Total	**R$**	**27.216,63**	

APÊNDICE 6 – Custeio da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare). (continuação)

Custos de produção - Pinus para madeira serrada MÁX

		Ano 01		Ano 02		Ano 03		Ano 4		Ano 5		Ano 6		Ano 7		Ano 8		Ano 9/10/11		Ano 12		Ano 13/14/15		Ano 16		Ano 17/18/19/20		Ano 21	
1. Mecanização	**Custo/hora**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**
Pá carregadeira - limpeza	78,61	1,50	117,91																										
Pulverizador em barra acoplado ao trator	56,04	0,90	50,44																										
Calcareadeira acoplada ao trator	57,50	0,30	17,25																										
Grade aradora acoplada ao trator	81,64	1,50	122,47																										
Subsolador acoplado ao trator	67,47	2,00	134,94																										
Pá carregadeira - aceros (abertura 2 horas, manutenção 1 hora)	78,61	2,00	157,21	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	3,00	235,82	1,00	78,61	3,00	235,82	1,00	78,61	4,00	314,43	1,00	78,61
Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator	73,97	1,33	98,38																										
Pulverizador em linha acoplado ao trator	58,37	1,80	105,07	1,2	70,04																								
Adubadeira acoplada ao trator	70,50	0,60	42,30																										
Motopoda	5,50							70,00	385,00			70,00	385,00			70,00	385,00												
Total			**R$ 845,96**		**R$ 148,65**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 235,82**		**R$ 78,61**		**R$ 235,82**		**R$ 78,61**		**R$ 314,43**		**R$ 78,61**

2. Insumos	**Preço**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**
Formicida (Mirex Max - Sulfuramida) (kg)	8,00	8	64,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3,00	24,00	3	24,00	9	72,00	3	24,00	9	72,00	3	24,00	12	96,00	3	24,00
Calcário (kg)	0,08	1500	120,00																										
Herbicida Pós-emergente, glifosato (l)	11,00	7	77,00	4	44,00																								
Herbicida Pré-emergente (tiosulfuitole) (kg)	833,33	0,15	125,00																										
Fertilizante 12-20-22 - plantio (kg)	1,33	150	199,50																										
Fertilizante 10-00-40 - cobertura (kg)	0,95	150	142,50																										
Polímero hidrogel (g)	0,12	4667,6	548,44																										
Fungicida Priori Xtra (l)	143,00			0,6	85,80																								
Mudas (+ 10% replantio)	0,35	1834	641,90																										
Total			**R$ 1.918,34**		**R$ 153,80**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 72,00**		**R$ 24,00**		**R$ 72,00**		**R$ 24,00**		**R$ 96,00**		**R$ 24,00**

3. Mão de obra	**Custo/homem/hora**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**
Operações mecanizadas - Preparo do solo, plantio e manejo	7,00	11,93	83,51	2,20	15,40	1,00	7,00	71,00	497,00	1,00	7,00	71,00	497,00	1,00	7,00	71,00	497,00	3,00	21,00	1,00	7,00	3,00	21,00	1,00	7,00	4,00	28,00	1,00	7,00
Operações mecanizadas - Corte	7,00															7,87	55,09			3,54	24,78			3,54	24,78			4,72	33,04
Operações manuais - Replantio (68,75 mudas/homem/hora) – 167 mudas	7,00	2,43	17,00																										
Operações manuais - Controle de formigas (2,67 horas/homem/aplicação)	7,00	16,02	112,14	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	16,02	112,14	5,34	37,38	16,02	112,14	5,34	37,38	21,36	149,52	5,34	37,38
Total			**R$ 212,65**		**R$ 52,78**		**R$ 44,38**		**R$ 534,38**		**R$ 44,38**		**R$ 534,38**		**R$ 44,38**		**R$ 589,47**		**R$ 133,14**		**R$ 69,16**		**R$ 133,14**		**R$ 69,16**		**R$ 177,52**		**R$ 77,42**

4. Desbastes e corte	**Custo/hora**									**Horas/arvore**	**Arvores**			**Qtde-horas**	**Custo/ha**	**Horas/arvore**	**Arvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**	**Horas/arvore**	**Arvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**	**Horas/arvore**	**Arvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**
Harvester	178,05									0,0062	667,00			4,14	178,05	0,0062	300,00	1,86	331,17	0,0062	300,00	1,86	331,17	0,0062	400,00	2,48	441,56
Forwarder	164,46									0,0056	667,00			3,74	614,29	0,0056	300,00	1,68	276,29	0,0056	300,00	1,68	276,29	0,0056	400,00	2,24	368,39
Total															**R$ 792,33**				**R$ 607,46**				**R$ 607,46**				**R$ 809,95**

5. Transporte	**Custo/ton**											**m3**			**ton**	**Custo/ha**		**m3**	**ton**	**Custo/ha**		**m3**	**ton**	**Custo/ha**		**m3**	**ton**	**Custo/ha**
Frete - rodotrem capacidade 49 ton	46,94											69,50			36,14	R$ 1.696,41		83,00	43,16	R$ 2.025,93		156,60	81,43	R$ 3.822,42		399,60	207,79	R$ 9.753,76
Total																**R$ 1.696,41**				**R$ 2.025,93**				**R$ 3.822,42**				**R$ 9.753,76**

Obs.: Teor de umidade 86,65% e densidade básica 520 kg/m3 (Almeida et al., 2014)

6. Custo total por ano(s)																													
	R$ 2.976,96		**R$ 355,23**		**R$ 146,99**		**R$ 1.021,99**		**R$ 146,99**		**R$ 1.021,99**		**R$ 146,99**		**R$ 3.565,83**		**R$ 440,96**		**R$ 2.805,16**		**R$ 440,96**		**R$ 4.601,65**		**R$ 587,95**		**R$ 10.743,73**

7. Composição do custo total		
1. Mecanização	R$ 3.643,14	12,56%
2. Insumos	R$ 2.528,14	8,72%
3. Mão de obra	R$ 2.716,35	9,37%
4. Desbastes e corte	R$ 2.817,20	9,71%
5. Transporte	R$ 17.298,52	59,64%
Total	**R$ 29.003,35**	

APÊNDICE 6 – Custeio da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare). (continuação)

Custos de produção - Pinus para madeira e goma-resina MIN

		Ano 01		Ano 02		Ano 03		Ano 4		Ano 5		Ano 6		Ano 7		Ano 8		Ano 9/10/11		Ano 12		Ano 13/14		Ano 15/16/17/18/19/20		Ano 21	
1. Mecanização	**Custo/hora**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**
Pá carregadeira - limpeza	78,61	1,50	117,91																								
Pulverizador em barra acoplado ao trator	56,04	0,90	50,44																								
Calcareadeira acoplada ao trator	57,50	0,30	17,25																								
Grade aradora acoplada ao trator	81,64	1,50	122,47																								
Subsolador acoplado ao trator	67,47	2,00	134,94																								
Pá carregadeira - aceros (abertura 2 horas, manutenção 1 hora)	78,61	2,00	157,21	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	3,00	235,82	1,00	78,61	2,00	157,21	6,00	471,64	1,00	78,61
Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator	73,97	1,33	98,38																								
Pulverizador em linha acoplado ao trator	58,37	1,80	105,07	1,2	70,04																						
Adubadeira acoplada ao trator	70,50	0,60	42,30																								
Trator 110 cv com carreta agrícola 2 eixos (transporte da resina)	41,60																			3,00	124,80	6,00	249,60	18,00	748,80	3,00	124,80
Motopoda	5,50							70,00	385,00			70,00	385,00			70,00	385,00										
Total			**R$ 845,96**		**R$ 148,65**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 235,82**		**R$ 203,41**		**R$ 406,81**		**R$ 1.220,44**		**R$ 203,41**

2. Insumos	**Preço**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**
Formicida (Mirex Max - Sulfuramida) (kg)	8,00	8	64,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	9	72,00	3	24,00	6	48,00	18	144,00	3	24,00
Calcário (kg)	0,08	1500	120,00																								
Herbicida Pós-emergente, glifosato (l)	11,00	7	77,00	4	44,00																						
Herbicida Pré-emergente (Isoxaflultole) (kg)	833,33	0,15	125,00																								
Fertilizante 12-20-22 - plantio (kg)	1,33	150	199,50																								
Fertilizante 10-00-40 - cobertura (kg)	0,95	150	142,50																								
Polímero hidrogel (g)	0,12	4667,6	548,44																								
Fungicida Priori Xtra (l)	143,00			0,6	85,80																						
Mudas (+ 10% replantio)	0,35	1834	641,90																								
Saquinho plástico (35 x 25 x 0,20 cm) (un)	0,17																			950	160,55	1900	321,10	5700	963,30	950	160,55
Estriador comum (1ª a 3ª safra) (un)	5,00																			0,11	0,55	0,22	1,10				
Estriador de bico (a partir da 4ª safra) (un)	4,35																							0,66	2,87	0,11	0,48
Raspadores (un)	5,96																			0,14	0,83	0,28	1,67	0,84	5,01	0,14	0,83
Bisnaga ou almotolia 500 ml com bico de metal (un)	3,20																			0,11	0,35	0,22	0,70	0,66	2,11	0,11	0,35
Arame nº 22 galv. (amarrar saquinho) (kg)	13,57																			1,94	26,33	3,88	52,65	11,64	157,95	1,94	26,33
Arame nº 14 (para fechar tambor) (kg)	5,39																			0,15	0,81	0,68	3,67	2,04	11,00	0,34	1,83
EPI - Botas de borracha (un)	14,50																			0,08	1,16	0,16	2,32	0,48	6,96	0,08	1,16
EPI - Capa de chuva (un)	19,17																			0,08	1,53	0,16	3,07	0,48	9,20	0,08	1,53
EPI - Luvas de raspa (un)	8,10																			0,08	0,65	0,16	1,30	0,48	3,89	0,08	0,65
Pasta estimulante (kg)	2,80																			16,18	45,30	72,82	203,90	218,46	611,69	36,41	101,95
Limpeza das mãos (óleo de soja e detergente) (l)	2,00																			3,84	7,68	7,68	15,36	23,04	46,08	3,84	7,68
Balde para coleta (20 litros) (un)	7,25																			0,11	0,80	0,22	1,60	0,66	4,79	0,11	0,80
Tambor (200 kg) (un)	50,00																			1,32	66,00	2,64	132,00	7,92	396,00	1,32	66,00
Sacão plástico (100 x 1,50 x 0,18 cm) (un)	1,58																			1,32	2,09	2,64	4,17	7,92	12,51	1,32	2,09
Total			**R$ 1.918,34**		**R$ 153,80**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 72,00**		**R$ 338,63**		**R$ 792,60**		**R$ 2.377,36**		**R$ 396,23**

3. Mão de obra	**Custo/homem/hora**	**Qtde - horas**	**Custo R$/Ha**	**Qtde - horas**	**Custo R$/Ha**	**Qtde - horas**	**Custo R$/Ha**	**Qtde - horas**	**Custo R$/Ha**	**Qtde - horas**	**Custo R$/Ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**
Operações mecanizadas - Preparo do solo, plantio e manejo	7,00	11,93	83,51	2,20	15,40	1,00	7,00	71,00	497,00	1,00	7,00	71,00	497,00	1,00	7,00	71,00	497,00	3,00	21,00	4,00	28,00	8,00	56,00	24,00	168,00	4,00	28,00
Operações mecanizadas - Corte	7,00															5,90	41,30			2,56	17,92					11,21	78,47
Operações manuais - Replantio (68,75 mudas/homem/hora) = 167 mudas	7,00	2,43	17,00																								
Operações manuais - Controle de formigas (2,67 horas/homem/aplicação)	7,00	16,02	112,14	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	16,02	112,14	5,34	37,38	10,68	74,76	32,04	224,28	5,34	37,38
Operações manuais - resinagem	7,00																			230,40	1612,80	460,80	3225,60	1382,40	9676,80	230,40	1612,80
Total			**R$ 212,65**		**R$ 52,78**		**R$ 44,38**		**R$ 534,38**		**R$ 44,38**		**R$ 534,38**		**R$ 44,38**		**R$ 575,68**		**R$ 133,14**		**R$ 1.696,10**		**R$ 3.356,36**		**R$ 10.069,08**		**R$ 1.756,65**

4. Desbastes e corte	**Custo/hora**	**Horas/arvore**	**Arvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**	**Horas/arvore**	**Arvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**	**Horas/arvore**	**Arvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**
Harvester	178,05	0,0062	500,00	3,10	551,95	0,0062	217,00	1,35	239,55			0,0062	950,00	5,89	1.048,71
Forwarder	164,46	0,0056	500,00	2,80	460,48	0,0056	217,00	1,22	199,85			0,0056	950,00	5,32	874,92
Total					**R$ 1.012,43**				**R$ 439,40**						**R$ 1.923,63**

5. Transporte	**Custo/ton**	**m3**	**ton**	**Custo/ha**	**m3**	**ton**	**Custo/ha**			**m3**	**ton**	**Custo/ha**
Frete - rodotrem capacidade 49 ton (madeira)	46,94	52,20	27,14	1274,14	50,70	26,36	1237,53			462,60	240,55	11291,51
						ton	**Custo/ha**	**ton**	**Custo/ha**	**ton**	**Custo/ha**	**ton**	**Custo/ha**
Frete - carreta bitrem capacidade 37 ton (resina)	31,08					1,06	32,85	4,76	147,94	14,28	443,82	2,38	73,82
Total/ ha				**R$ 1.274,14**			**R$ 1.270,38**		**R$ 147,94**		**R$ 443,82**		**R$ 11.365,33**

Obs.: Teor de umidade 86,65% e densidade básica 520 kg/m3 (Almeida et al., 2014)

6. Custo total por ano(s)	**R$ 2.976,96**	**R$ 355,23**	**R$ 146,99**	**R$ 1.021,99**	**R$ 146,99**	**R$ 1.021,99**	**R$ 146,99**	**R$ 3.349,86**	**R$ 440,96**	**R$ 3.947,91**	**R$ 4.703,71**	**R$ 14.110,70**	**R$ 15.645,23**

7. Composição do custo total		
1. Mecanização	R$ 4.891,14	10,19%
2. Insumos	R$ 6.192,95	12,90%
3. Mão de obra	R$ 19.054,35	39,68%
4. Desbastes e corte	R$ 3.375,46	7,03%
5. Transporte	R$ 14.501,61	30,20%
Total	**R$ 48.015,50**	

APÊNDICE 6 – Custeio da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare). (continuação)

Custos de produção - Pinus para madeira e goma-resina MÁX

		Ano 01		Ano 02		Ano 03		Ano 4		Ano 5		Ano 6		Ano 7		Ano 8		Ano 9/10/11		Ano 12		Ano 13/14		Ano 15/16/17/18/19/20		Ano 21	
1. Mecanização	**Custo/hora**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**
Pá carregadeira - limpeza	78,61	1,50	117,91																								
Pulverizador em barra acoplado ao trator	56,04	0,90	50,44																								
Calcareadeira acoplada ao trator	57,50	0,30	17,25																								
Grade aradora acoplada ao trator	81,64	1,50	122,47																								
Subsolador acoplado ao trator	67,47	2,00	134,94																								
Pá carregadeira - aceros (abertura 2 horas, manutenção 1 hora)	78,61	2,00	157,21	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	3,00	235,82	1,00	78,61	2,00	157,21	6,00	471,64	1,00	78,61
Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator	73,97	1,33	98,38																								
Pulverizador em linha acoplado ao trator	58,37	1,80	105,07	1,2	70,04																						
Adubadeira acoplada ao trator	70,50	0,60	42,30																								
Trator 110 cv com carreta agrícola 2 eixos (transporte da resina)	41,60																			3,00	124,80	6,00	249,60	18,00	748,80	3,00	124,80
Motopoda	5,50							70,00	385,00			70,00	385,00			70,00	385,00										
Total			**R$ 845,96**		**R$ 148,65**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 235,82**		**R$ 203,41**		**R$ 406,81**		**R$ 1.220,44**		**R$ 203,41**

2. Insumos	**Preço**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo R$/Ha**	**Qtde**	**Custo/ha**
Formicida (Mirex Max - Sulfuramida) (kg)	8,00	8	64,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	9	72,00	3	24,00	6	48,00	18	144,00	3	24,00
Calcário (kg)	0,08	1500	120,00																								
Herbicida Pós-emergente, glifosato (l)	11,00	7	77,00	4	44,00																						
Herbicida Pré-emergente (isoxaflutole) (kg)	833,33	0,15	125,00																								
Fertilizante 12-20-22 - plantio (kg)	1,33	150	199,50																								
Fertilizante 10-00-40 - cobertura (kg)	0,95	150	142,50																								
Polímero hidrogel (g)	0,12	4667,6	548,44																								
Fungicida Priori Xtra (l)	143,00			0,6	85,80																						
Mudas (+ 10% replantio)	0,35	1834	641,90																								
Saquinho plástico (35 x 25 x 0,20 cm) (un)	0,17																			950	160,55	1900	321,10	5700	963,30	950	160,55
Estriador comum (1ª a 3ª safra) (un)	5,00																			0,11	0,55	0,22	1,10				
Estriador de bico (a partir da 4ª safra) (un)	4,35																							0,66	2,87	0,11	0,48
Raspadores (un)	5,96																			0,14	0,83	0,28	1,67	0,84	5,01	0,14	0,83
Bisnaga ou almotolia 500 ml com bico de metal (un)	3,20																			0,11	0,35	0,22	0,70	0,66	2,11	0,11	0,35
Arame nº 22 galv. (amarrar saquinho) (kg)	13,57																			1,94	26,33	3,88	52,65	11,64	157,95	1,94	26,33
Arame nº 14 (para fechar tambor) (kg)	5,39																			0,15	0,81	0,68	3,67	2,04	11,00	0,34	1,83
EPI - Botas de borracha (un)	14,50																			0,08	1,16	0,16	2,32	0,48	6,96	0,08	1,16
EPI - Capa de chuva (un)	19,17																			0,08	1,53	0,16	3,07	0,48	9,20	0,08	1,53
EPI - Luvas de raspa (un)	8,10																			0,08	0,65	0,16	1,30	0,48	3,89	0,08	0,65
Pasta estimulante (kg)	2,80																			16,18	45,30	72,82	203,90	218,46	611,69	36,41	101,95
Limpeza das mãos (óleo de soja e detergente) (l)	2,00																			3,84	7,68	7,68	15,36	23,04	46,08	3,84	7,68
Balde para coleta (20 litros) (un)	7,25																			0,11	0,80	0,22	1,60	0,66	4,79	0,11	0,80
Tambor (200 kg) (un)	50,00																			1,32	66,00	2,64	132,00	7,92	396,00	1,32	66,00
Sacão plástico (100 x 1,50 x 0,18 cm) (un)	1,58																			1,32	2,09	2,64	4,17	7,92	12,51	1,32	2,09
Total			**R$ 1.918,34**		**R$ 153,80**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 72,00**		**R$ 338,63**		**R$ 792,60**		**R$ 2.377,36**		**R$ 396,23**

3. Mão de obra	**Custo/homem/hora**	**Qtde - horas**	**Custo R$/Ha**	**Qtde - horas**	**Custo R$/Ha**	**Qtde - horas**	**Custo R$/Ha**	**Qtde - horas**	**Custo R$/Ha**	**Qtde - horas**	**Custo R$/Ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**
Operações mecanizadas - Preparo do solo, plantio e manejo	7,00	11,93	83,51	2,20	15,40	1,00	7,00	71,00	497,00	1,00	7,00	71,00	497,00	1,00	7,00	71,00	497,00	3,00	21,00	4,00	28,00	8,00	56,00	24,00	168,00	4,00	28,00
Operações mecanizadas - Corte	7,00															5,90	41,30			2,56	17,92			0,00	0,00	11,21	78,47
Operações manuais - Replantio (68,75 mudas/homem/hora) = 167 mudas	7,00	2,43	17,00																								
Operações manuais - Controle de formigas (2,67 horas/homem/aplicação)	7,00	16,02	112,14	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	16,02	112,14	5,34	37,38	10,68	74,76	32,04	224,28	5,34	37,38
Operações manuais - resinagem	7,00																			230,40	1612,80	460,80	3225,60	1382,40	9676,80	230,40	1612,80
Total			**R$ 212,65**		**R$ 52,76**		**R$ 44,38**		**R$ 534,38**		**R$ 44,38**		**R$ 534,38**		**R$ 44,38**		**R$ 575,68**		**R$ 133,14**		**R$ 1.696,10**		**R$ 3.356,36**		**R$ 10.069,08**		**R$ 1.756,65**

4. Desbastes e corte	**Custo/hora**	**Horas/arvore**	**Arvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**	**Horas/arvore**	**Arvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**	**Horas/arvore**	**Arvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**
Harvester	178,05	0,0062	500,00	3,10	551,95	0,0062	217,00	1,35	239,55			0,0062	950,00	5,89	1.048,71
Forwarder	164,46	0,0056	500,00	2,80	460,48	0,0056	217,00	1,22	199,85			0,0056	950,00	5,32	874,92
Total					**R$ 1.012,43**				**R$ 439,40**						**R$ 1.923,63**

5. Transporte	**Custo/ton**	**m3**	**ton**	**Custo/ha**	**m3**	**ton**	**Custo/ha**	**ton**	**Custo/ha**	**ton**	**Custo/ha**	**m3**	**ton**	**Custo/ha**
Frete - rodotrem capacidade 49 ton (madeira)	46,94	71,60	37,23	1747,67	62,60			32,55	1527,99			569,10	295,93	13891,05
								ton	**Custo/ha**	**ton**	**Custo/ha**	**ton**	**Custo/ha**	
Frete - carreta bitrem capacidade 37 ton (resina)	31,08							1,06	32,85	4,76	147,94	14,28	443,82	2,38	73,82
Total				**R$ 1.747,67**					**R$ 1.560,84**		**R$ 147,94**		**R$ 443,82**		**R$ 13.964,86**

Obs.: Teor de umidade 86,65% e densidade básica 520 kg/m3 (Almeida et al., 2014)

6. Custo total por ano(s)	**R$ 2.976,96**	**R$ 355,23**	**R$ 146,99**	**R$ 1.021,99**	**R$ 146,99**	**R$ 1.021,99**	**R$ 146,99**	**R$ 3.823,39**	**R$ 440,96**	**R$ 4.238,38**	**R$ 4.703,71**	**R$ 14.110,70**	**R$ 18.244,77**

7. Composição do custo total			
1. Mecanização	R$	4.891,14	9,52%
2. Insumos	R$	6.192,95	12,05%
3. Mão de obra	R$	19.054,35	37,09%
4. Desbastes e corte	R$	3.375,46	6,57%
5. Transporte	R$	17.865,14	34,77%
Total	**R$**	**51.379,03**	

APÊNDICE 6 – Custeio da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare). (continuação)

Custos de produção - Pinus para madeira e goma-resina MÉD

		Ano 01		Ano 02		Ano 03		Ano 4		Ano 5		Ano 6		Ano 7		Ano 8		Ano 9/10/11		Ano 12		Ano 13/14		Ano 15/16/17/18/19/20		Ano 21	
1. Mecanização	**Custo/hora**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**	**Hora/maq**	**Custo/ha**
Pá carregadeira - limpeza	78,61	1,50	117,91																								
Pulverizador em barra acoplado ao trator	56,04	0,90	50,44																								
Calcareadeira acoplada ao trator	57,50	0,30	17,25																								
Grade aradora acoplada ao trator	81,64	1,50	122,47																								
Subsolador acoplado ao trator	67,47	2,00	134,94																								
Pá carregadeira - aceros (abertura 2 horas, manutenção 1 hora)	78,61	2,00	157,21	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	1,00	78,61	3,00	235,82	1,00	78,61	2,00	157,21	6,00	471,64	1,00	78,61
Plantadeira e adubadeira acoplada ao trator	73,97	1,33	98,38																								
Pulverizador em linha acoplado ao trator	58,37	1,80	105,07	1,2	70,04																						
Adubadeira acoplada ao trator	70,50	0,60	42,30																								
Trator 110 cv com carreta agrícola 2 eixos (transporte da resina)	41,60																			3,00	124,80	6,00	249,60	18,00	748,80	3,00	124,80
Motopoda	5,50							70,00	385,00			70,00	385,00			70,00	385,00										
Total			**R$ 845,96**		**R$ 148,65**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 78,61**		**R$ 463,61**		**R$ 235,82**		**R$ 203,41**		**R$ 406,81**		**R$ 1.220,44**		**R$ 203,41**

2. Insumos	**Preço**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**	**Qtde**	**Custo/ha**
Formicida (Mirex Max - Sulfluramida) (kg)	8,00	8	64,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	3	24,00	9	72,00	3	24,00	6	48,00	18	144,00	3	24,00
Calcário (kg)	0,08	1500	120,00																								
Herbicida Pós-emergente, glifosato (l)	11,00	7	77,00	4	44,00																						
Herbicida Pré-emergente (Isoxaflultole) (kg)	833,33	0,15	125,00																								
Fertilizante 12-20-22 - plantio (kg)	1,33	150	199,50																								
Fertilizante 10-00-40 - cobertura (kg)	0,95	150	142,50																								
Polímero hidrogel (g)	0,12	4667,6	548,44																								
Fungicida Priori Xtra (l)	143,00			0,6	85,80																						
Mudas (+ 10% replantio)	0,35	1834	641,90																								
Saquinho plástico (35 x 25 x 0,20 cm) (un)	0,17																			950	160,55	1900	321,10	5700	963,30	950	160,55
Estriador comum (1º a 3ª safra) (un)	5,00																			0,11	0,55	0,22	1,10				
Estriador de bico (a partir da 4ª safra) (un)	4,35																							0,66	2,87	0,11	0,48
Raspadores (un)	5,96																			0,14	0,83	0,28	1,67	0,84	5,01	0,14	0,83
Bisnaga ou almotolia 500 ml com bico de metal (un)	3,20																			0,11	0,35	0,22	0,70	0,66	2,11	0,11	0,35
Arame nº 22 galv. (amarrar saquinho) (kg)	13,57																			1,94	26,33	3,88	52,65	11,64	157,95	1,94	26,33
Arame nº 14 (para fechar tambor) (kg)	5,39																			0,15	0,81	0,68	3,67	2,04	11,00	0,34	1,83
EPI - Botas de borracha (un)	14,50																			0,08	1,16	0,16	2,32	0,48	6,96	0,08	1,16
EPI - Capa de chuva (un)	19,17																			0,08	1,53	0,16	3,07	0,48	9,20	0,08	1,53
EPI - Luvas de raspa (un)	8,10																			0,08	0,65	0,16	1,30	0,48	3,89	0,08	0,65
Pasta estimulante (kg)	2,80																			16,18	45,30	72,82	203,90	218,46	611,69	36,41	101,95
Limpeza das mãos (óleo de soja e detergente) (l)	2,00																			3,84	7,68	7,68	15,36	23,04	46,08	3,84	7,68
Balde para coleta (20 litros) (un)	7,25																			0,11	0,80	0,22	1,60	0,66	4,79	0,11	0,80
Tambor (200 kg) (un)	50,00																			1,32	66,00	2,64	132,00	7,92	396,00	1,32	66,00
Sacão plástico (100 x 1,50 x 0,18 cm) (un)	1,58																			1,32	2,09	2,64	4,17	7,92	12,51	1,32	2,09
Total			**R$ 1.918,34**		**R$ 153,80**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 24,00**		**R$ 72,00**		**R$ 338,63**		**R$ 792,60**		**R$ 2.377,36**		**R$ 396,23**

3. Mão de obra	**R$/homem/hora**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**	**Qtde - horas**	**Custo/ha**
Operações mecanizadas - Preparo do solo, plantio e manejo	7,00	11,93	83,51	2,20	15,40	1,00	7,00	71,00	497,00	1,00	7,00	71,00	497,00	1,00	7,00	71,00	497,00	3,00	21,00	4,00	28,00	8,00	56,00	24,00	168,00	4,00	28,00
Operações mecanizadas - Corte	7,00															5,90	41,30			2,56	17,92			0,00	0,00	11,21	78,47
Operações manuais - Replantio (68,75 mudas/homem/hora) = 167 mudas	7,00	2,43	17,00																								
Operações manuais - Controle de formigas (2,67 horas/homem/aplicação)	7,00	16,02	112,14	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	5,34	37,38	16,02	112,14	5,34	37,38	10,68	74,76	32,04	224,28	5,34	37,38
Operações manuais - resinagem	7,00																			230,40	1612,80	460,80	3225,60	1382,40	9676,80	230,40	1612,80
Total			**R$ 212,65**		**R$ 52,78**		**R$ 44,38**		**R$ 534,38**		**R$ 44,38**		**R$ 534,38**		**R$ 44,38**		**R$ 575,68**		**R$ 133,14**		**R$ 1.696,10**		**R$ 3.356,36**		**R$ 10.069,08**		**R$ 1.756,65**

4. Desbastes e corte	**Custo/hora**																										
														Horas/arvore	**Arvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**	**Horas/arvore**	**Arvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**			**Horas/arvore**	**Arvores**	**Qtde-horas**	**Custo/ha**
Harvester	178,05													0,0062	500,00	3,10	551,95	0,0062	217,00	1,35	239,55			0,0062	950,00	5,89	1.048,71
Forwarder	164,46													0,0056	500,00	2,80	460,48	0,0056	217,00	1,22	199,85			0,0056	950,00	5,32	874,92
Total																	**R$ 1.012,43**				**R$ 439,40**						**R$ 1.923,63**

5. Transporte	**Custo/ton**																										
														m3	**ton**	**Custo/ha**		**m3**	**ton**	**Custo/ha**					**m3**	**ton**	**Custo/ha**
Frete - rodotrem capacidade 49 ton (madeira)	46,94													61,70	32,08	1506,02		57,00	29,64	1391,30					515,80	268,22	12590,06
																			ton	**Custo/ha**	**ton**	**Custo/ha**	**ton**	**Custo/ha**		**ton**	**Custo/ha**
Frete - carreta bitrem capacidade 37 ton (resina)	31,08																		1,06	32,85	4,76	147,94	14,28	443,82		2,38	73,82
Total																**R$ 1.506,02**				**R$ 1.424,15**		**R$ 147,94**		**R$ 443,82**			**R$ 12.663,87**

Obs.: Teor de umidade 86,65% e densidade básica 520 kg/m3 (Almeida et al., 2014)

6. Custo total por ano(s)		**R$ 2.976,96**		**R$ 355,23**		**R$ 146,99**		**R$ 1.021,99**		**R$ 146,99**		**R$ 1.021,99**		**R$ 146,99**		**R$ 3.581,74**		**R$ 440,96**		**R$ 4.101,69**		**R$ 4.703,71**		**R$ 14.110,70**		**R$ 16.943,78**

7. Composição do custo total			
1. Mecanização	R$	4.891,14	9,84%
2. Insumos	R$	6.192,95	12,46%
3. Mão de obra	R$	19.054,35	38,34%
4. Desbastes e corte	R$	3.375,46	6,79%
5. Transporte	R$	16.185,81	32,57%
Total	**R$**	**49.699,71**	

APÊNDICE 7 – Fluxo de caixa da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare).
(continua)

EC MÍN				
Ano	Receitas		Despesas	
1			R$	3.064,45
2			R$	355,23
3			R$	146,99
4			R$	146,99
5			R$	146,99
6			R$	146,99
7	R$	22.958,79	R$	12.479,26
Total	**R$**	**22.958,79**	**R$**	**16.486,89**

EC MÁX				
Ano	Receitas		Despesas	
1			R$	3.064,45
2			R$	355,23
3			R$	146,99
4			R$	146,99
5			R$	146,99
6			R$	146,99
7	R$	30.001,76	R$	14.780,17
Total	**R$**	**30.001,76**	**R$**	**18.787,80**

EC MÉD				
Ano	Receitas		Despesas	
1			R$	3.064,45
2			R$	355,23
3			R$	146,99
4			R$	146,99
5			R$	146,99
6			R$	146,99
7	R$	26.876,74	R$	13.606,92
Total	**R$**	**26.876,74**	**R$**	**17.614,54**

PC MÍN				
Ano	Receitas		Custos	
1			R$	3.134,25
2			R$	355,23
3			R$	146,99
4			R$	146,99
5			R$	146,99
6			R$	146,99
7			R$	146,99
8			R$	146,99
9			R$	146,99
10			R$	146,99
11			R$	146,99
12			R$	146,99
13			R$	146,99
14			R$	146,99
15	R$	36.253,47	R$	14.549,37
Total	**R$**	**36.253,47**	**R$**	**19.802,69**

PC MÁX				
Ano	Receitas		Custos	
1			R$	3.134,25
2			R$	355,23
3			R$	146,99
4			R$	146,99
5			R$	146,99
6			R$	146,99
7			R$	146,99
8			R$	146,99
9			R$	146,99
10			R$	146,99
11			R$	146,99
12			R$	146,99
13			R$	146,99
14			R$	146,99
15	R$	51.459,42	R$	17.229,45
Total	**R$**	**51.459,42**	**R$**	**22.482,78**

PC MÉD				
Ano	Receitas		Custos	
1			R$	3.134,25
2			R$	355,23
3			R$	146,99
4			R$	146,99
5			R$	146,99
6			R$	146,99
7			R$	146,99
8			R$	146,99
9			R$	146,99
10			R$	146,99
11			R$	146,99
12			R$	146,99
13			R$	146,99
14			R$	146,99
15	R$	43.553,12	R$	15.894,29
Total	**R$**	**43.553,12**	**R$**	**21.147,62**

APÊNDICE 7 – Fluxo de caixa da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare).
(continuação)

EM MÍN		
Ano	Receitas	Custos
1		R$ 4.197,28
2		R$ 1.230,23
3		R$ 1.021,99
4		R$ 146,99
5		R$ 146,99
6		R$ 146,99
7	R$ 11.490,23	R$ 5.975,62
8		R$ 146,99
9		R$ 146,99
10		R$ 146,99
11		R$ 146,99
12		R$ 146,99
13		R$ 146,99
14	R$ 15.461,27	R$ 7.232,58
15		R$ 146,99
16		R$ 146,99
17		R$ 146,99
18		R$ 146,99
19		R$ 146,99
20		R$ 146,99
21	R$ 46.363,49	R$ 20.365,09
Total	**R$ 73.315,00**	**R$ 42.227,59**

EM MÁX		
Ano	Receitas	Custos
1		R$ 4.197,28
2		R$ 1.230,23
3		R$ 1.021,99
4		R$ 146,99
5		R$ 146,99
6		R$ 146,99
7	R$ 13.682,35	R$ 6.825,68
8		R$ 146,99
9		R$ 146,99
10		R$ 146,99
11		R$ 146,99
12		R$ 146,99
13		R$ 146,99
14	R$ 18.646,57	R$ 8.605,07
15		R$ 146,99
16		R$ 146,99
17		R$ 146,99
18		R$ 146,99
19		R$ 146,99
20		R$ 146,99
21	R$ 54.546,13	R$ 24.092,94
Total	**R$ 86.875,04**	**R$ 48.177,99**

EM MÉD		
Ano	Receitas	Custos
1		R$ 4.197,28
2		R$ 1.230,23
3		R$ 1.021,99
4		R$ 146,99
5		R$ 146,99
6		R$ 146,99
7	R$ 11.972,91	R$ 6.400,65
8		R$ 146,99
9		R$ 146,99
10		R$ 146,99
11		R$ 146,99
12		R$ 146,99
13		R$ 146,99
14	R$ 16.990,99	R$ 7.914,40
15		R$ 146,99
16		R$ 146,99
17		R$ 146,99
18		R$ 146,99
19		R$ 146,99
20		R$ 146,99
21	R$ 49.552,09	R$ 22.242,30
Total	**R$ 78.516,00**	**R$ 45.211,64**

APÊNDICE 7 – Fluxo de caixa da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare).
(continuação)

PM MÍN		
Ano	Receitas	Custos
1		R$ 2.976,96
2		R$ 355,23
3		R$ 146,99
4		R$ 1.021,99
5		R$ 146,99
6		R$ 1.021,99
7		R$ 146,99
8	R$ 3.683,08	R$ 3.165,52
9		R$ 146,99
10		R$ 146,99
11		R$ 146,99
12	R$ 4.779,95	R$ 2.365,80
13		R$ 146,99
14		R$ 146,99
15		R$ 146,99
16	R$ 14.916,90	R$ 3.820,56
17		R$ 146,99
18		R$ 146,99
19		R$ 146,99
20		R$ 146,99
21	R$ 45.159,35	R$ 8.825,20
Total	**R$ 68.539,28**	**R$ 25.464,08**

PM MÁX		
Ano	Receitas	Custos
1		R$ 2.976,96
2		R$ 355,23
3		R$ 146,99
4		R$ 1.021,99
5		R$ 146,99
6		R$ 1.021,99
7		R$ 146,99
8	R$ 4.865,04	R$ 3.565,83
9		R$ 146,99
10		R$ 146,99
11		R$ 146,99
12	R$ 8.746,76	R$ 2.805,16
13		R$ 146,99
14		R$ 146,99
15		R$ 146,99
16	R$ 21.317,72	R$ 4.601,65
17		R$ 146,99
18		R$ 146,99
19		R$ 146,99
20		R$ 146,99
21	R$ 57.141,89	R$ 10.743,73
Total	**R$ 92.071,41**	**R$ 29.003,35**

PM MÉD		
Ano	Receitas	Custos
1		R$ 2.976,96
2		R$ 355,23
3		R$ 146,99
4		R$ 1.021,99
5		R$ 146,99
6		R$ 1.021,99
7		R$ 146,99
8	R$ 4.268,13	R$ 3.363,23
9		R$ 146,99
10		R$ 146,99
11		R$ 146,99
12	R$ 7.766,66	R$ 2.583,04
13		R$ 146,99
14		R$ 146,99
15		R$ 146,99
16	R$ 18.551,89	R$ 4.206,22
17		R$ 146,99
18		R$ 146,99
19		R$ 146,99
20		R$ 146,99
21	R$ 51.012,63	R$ 9.777,14
Total	**R$ 81.599,31**	**R$ 27.216,63**

APÊNDICE 7 – Fluxo de caixa da fase agrícola dos sistemas de produção florestal (por hectare). (continuação)

PRM MÍN				
Ano	Madeira	Resina	Receitas	Custos
1				R$ 2.976,96
2				R$ 355,23
3				R$ 146,99
4				R$ 1.021,99
5				R$ 146,99
6				R$ 1.021,99
7				R$ 146,99
8	R$ 3.722,12		R$ 3.722,12	R$ 3.349,86
9				R$ 146,99
10				R$ 146,99
11				R$ 146,99
12	R$ 5.179,63	R$ 2.565,20	R$ 7.744,83	R$ 3.947,91
13		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,85
14		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,85
15		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
16		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
17		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
18		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
19		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
20		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
21	R$ 60.452,63	R$ 5.759,60	R$ 66.212,23	R$ 15.645,23
Total	R$ 69.354,38	R$ 54.401,60	**R$ 123.755,98**	**R$ 48.015,50**

PRM MÁX				
Ano	Madeira	Resina	Receitas	Custos
1				R$ 2.976,96
2				R$ 355,23
3				R$ 146,99
4				R$ 1.021,99
5				R$ 146,99
6				R$ 1.021,99
7				R$ 146,99
8	R$ 5.778,38		R$ 5.778,38	R$ 3.823,39
9				R$ 146,99
10				R$ 146,99
11				R$ 146,99
12	R$ 6.909,93	R$ 2.565,20	R$ 9.475,13	R$ 4.238,38
13		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,85
14		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,85
15		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
16		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
17		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
18		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
19		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
20		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
21	R$ 77.945,46	R$ 5.759,60	R$ 83.705,06	R$ 18.244,77
Total	R$ 90.633,77	R$ 54.401,60	**R$ 145.035,37**	**R$ 51.379,03**

PRM MÉD				
Ano	Madeira	Resina	Receitas	Custos
1				R$ 2.976,96
2				R$ 355,23
3				R$ 146,99
4				R$ 1.021,99
5				R$ 146,99
6				R$ 1.021,99
7				R$ 146,99
8	R$ 4.664,47		R$ 4.664,47	R$ 3.581,74
9				R$ 146,99
10				R$ 146,99
11				R$ 146,99
12	R$ 6.054,41	R$ 2.565,20	R$ 8.619,61	R$ 4.101,69
13		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,85
14		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,85
15		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
16		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
17		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
18		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
19		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
20		R$ 5.759,60	R$ 5.759,60	R$ 2.351,78
21	R$ 69.065,43	R$ 5.759,60	R$ 74.825,03	R$ 16.943,78
Total	R$ 79.784,31	R$ 54.401,60	**R$ 134.185,91**	**R$ 49.699,71**

APÊNDICE 8 – Demonstrativo do cálculo da área de pastagens e número de rebanho na Costa Leste do estado de Mato Grosso do Sul.

Município	**A** Área de pasto em 2006*	**B** Variação da área de florestas (2006 a 2015)	**C** Variação da área de lavoura permanente (2006 a 2015)	**D** Variação da área de lavoura temporária (2006 a 2015)	**E** Área de pasto em 2015 com dupla contabilização do milho (=A-B-C-D)	**F** Área de milho (2015)	**G** Área de pasto em 2015 descontando a dupla contabilização do milho (=E-F)	**H** Número de rebanho	**I** Animais/ hectare
Agua Clara	675.702	101.862	-538	-21.859	596.237	0	596.237	490.190	0,82
Anaurilândia	192.949	1.272	-137	7.385	184.429	4.050	180.379	288.869	1,60
Aparecida do taboado	154.990	18.003	-1.531	133	138.385	0	138.385	171.684	1,24
Bandeirantes	187.655	2.650	-509	39.114	146.400	15.200	131.200	224.325	1,71
Bataguassu	136.851	1.860	-723	7.753	127.961	3.172	124.789	200.872	1,61
Batayporã	123.842	272	-29	18.808	104.791	11.000	93.791	169.314	1,81
Brasilândia	385.692	50.738	-479	6.293	329.140	260	328.880	474.034	1,44
Camapuã	419.616	-969	-3.469	12.194	411.860	2.110	409.750	575.046	1,40
Campo Grande	527.289	24.044	-728	41.861	462.112	25.000	437.112	555.994	1,27
Figueirão	252.730	151	-27	1.750	250.856	40	250.816	252.152	1,01
Inocência	381.103	42.970	-59	-1.055	339.247	0	339.247	479.947	1,41
Jaraguari	175.622	14.785	-1.636	9.059	153.414	2.100	151.314	196.190	1,30
Nova Alvorada do Sul	224.033	3.309	19	89.175	131.530	25.000	106.530	218.600	2,05
Nova Andradina	329.340	12.333	-4.841	14.722	307.126	8.450	298.676	420.599	1,41
Paranaíba	363.752	6.831	-254	-5.197	362.372	0	362.372	521.511	1,44
Ribas do Rio Pardo	1.187.966	169.433	-4.619	386	1.022.766	1.118	1.021.648	1.101.726	1,08
Santa Rita do Pardo	434.091	20.055	-212	-5.796	420.044	80	419.964	541.685	1,29
Selvíria	193.680	74.350	-425	779	118.976	660	118.316	192.622	1,63
Três Lagoas	714.568	192.353	-804	-7.538	530.557	0	530.557	635.619	1,20
TOTAL / MÉDIA	7.061.471	736.302	-21.001	207.967	6.138.203	98.240	**6.039.963**	7.710.979	**1,41**

* Soma das pastagens naturais e plantadas degradadas e em boas condições.

ANEXO

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continua)

Sistema EC MÍN

SisEucalipto

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO - Eucalyptus grandis / urograndis

Descrição: EC 7 ANOS
Índice de Sítio: 24,6
Densidade (árvores por hectare): 1300
Porcentagem de sobrevivência (1º ano): 100 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	4,4	1300	2,4	3,9	0,6	0,9	0,9	0,9
2	10,0	1300	7,0	8,7	5,0	17,1	8,5	16,1
3	14,3	1300	10,1	12,4	10,4	50,7	16,9	47,7
4	17,6	1299	12,3	15,4	15,3	92,0	23,0	86,6
5	20,4	1297	13,8	17,8	19,5	135,2	27,0	127,3
6	22,7	1293	15,1	19,8	23,0	177,4	29,6	167,1
7	24,6	1288	16,0	21,5	26,0	217,3	31,0	204,6

Equação de Sítio: Embrapa (IS 7 anos)
Equação de Volume: Embrapa
Equação de sortimento: Embrapa
tCO2 = (Vol+25%)x(Dens. Básica: 0,49)x(C: 0,42)x(CO2: 3,66)

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (7 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
8,0-10,0	4	19,3	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2
10,0-12,0	70	20,2	5,6	0,0	0,0	3,6	2,0
12,0-14,0	240	20,8	26,4	0,0	0,0	22,0	4,4
14,0-16,0	374	21,2	55,0	0,0	0,0	48,1	6,9
16,0-18,0	344	21,5	65,2	0,0	0,0	61,4	3,8
18,0-20,0	193	21,9	46,0	0,0	0,0	43,0	2,9
20,0-22,0	58	22,2	16,8	0,0	4,1	12,0	0,7
22,0-24,0	6	22,6	2,1	0,0	1,2	0,8	0,1
Totais		**21,5**	**217,3**	**0,0**	**5,3**	**191,0**	**20,9**

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

Sistema EC MÉD

SisEucalipto

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO - Eucalyptus grandis / urograndis

Descrição: EC 7 ANOS
Índice de Sítio: 25,8
Densidade (árvores por hectare): 1300
Porcentagem de sobrevivência (1º ano): 100 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	4,6	1300	2,6	4,0	0,7	1,1	1,1	1,0
2	10,5	1300	7,4	9,1	5,6	19,8	9,9	18,6
3	14,9	1300	10,6	13,0	11,4	57,9	19,3	54,5
4	18,5	1298	12,8	16,1	16,6	104,2	26,1	98,1
5	21,3	1295	14,4	18,6	21,0	152,3	30,5	143,4
6	23,7	1291	15,6	20,7	24,6	198,9	33,2	187,3
7	25,8	1284	16,6	22,5	27,7	242,6	34,7	228,4

Equação de Sítio: Embrapa (IS 7 anos)
Equação de Volume: Embrapa
Equação de sortimento: Embrapa
tCO2 = (Vol+25%)x(Dens. Básica: 0,49)x(C: 0,42)x(CO2: 3,66)

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (7 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
8,0-10,0	1	19,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
10,0-12,0	43	21,0	3,6	0,0	0,0	2,5	1,1
12,0-14,0	192	21,7	22,1	0,0	0,0	18,0	4,1
14,0-16,0	347	22,1	53,4	0,0	0,0	47,9	5,5
16,0-18,0	361	22,5	71,7	0,0	0,0	66,4	5,3
18,0-20,0	235	22,8	58,7	0,0	0,0	55,7	3,0
20,0-22,0	89	23,2	27,3	0,0	6,4	20,0	0,9
22,0-24,0	15	23,5	5,4	0,0	3,1	2,1	0,2
Totais		**22,5**	**242,6**	**0,0**	**9,5**	**212,7**	**20,1**

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

Sistema EC MÁX

SisEucalipto

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO - Eucalyptus grandis / urograndis

Descrição: EC 7 ANOS
Índice de Sítio: 26,9
Densidade (árvores por hectare): 1300
Porcentagem de sobrevivência (1º ano): 100 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	4,9	1300	2,8	4,2	0,8	1,3	1,3	1,2
2	10,9	1300	7,7	9,5	6,1	22,7	11,3	21,4
3	15,6	1299	11,0	13,6	12,3	65,5	21,8	61,7
4	19,3	1297	13,2	16,8	17,8	117,1	29,3	110,3
5	22,3	1294	14,9	19,5	22,4	170,3	34,1	160,3
6	24,8	1288	16,1	21,7	26,2	221,4	36,9	208,5
7	26,9	1280	17,1	23,5	29,3	269,1	38,4	253,3

Equação de Sítio: Embrapa (IS 7 anos)
Equação de Volume: Embrapa
Equação de sortimento: Embrapa
tCO2 = (Vol+25%)x(Dens. Básica: 0,49)x(C: 0,42)x(CO2: 3,66)

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (7 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
10,0-12,0	24	21,8	2,1	0,0	0,0	1,5	0,7
12,0-14,0	148	22,5	17,9	0,0	0,0	15,1	2,8
14,0-16,0	314	23,0	50,5	0,0	0,0	44,4	6,1
16,0-18,0	368	23,5	76,2	0,0	0,0	71,7	4,6
18,0-20,0	271	23,8	70,7	0,0	0,0	67,8	2,9
20,0-22,0	124	24,2	39,6	0,0	8,9	28,9	1,8
22,0-24,0	29	24,5	11,1	0,0	6,2	4,6	0,3
24,0-26,0	2	24,9	0,9	0,0	0,6	0,3	0,0
Totais		**23,5**	**269,1**	**0,0**	**15,8**	**234,2**	**19,1**

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

Sistema PC MÍN

SisPinus

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO (Pinus Caribaea var. hondurensis)

Descrição: PC
Índice de Sítio: 19,1
Densidade (árvores por hectare): 2222
Porcentagem de sobrevivência (1º ano): 100 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	0,1	2222	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	1,6	2222	0,9	1,2	0,1	0,1	0,0	0,1
3	3,7	2222	3,2	3,0	1,8	2,4	0,8	2,1
4	5,8	2222	5,8	4,9	5,9	12,5	3,1	11,0
5	7,7	2222	8,1	6,6	11,5	32,8	6,6	29,0
6	9,5	2222	10,0	8,2	17,5	61,7	10,3	54,5
7	11,1	2222	11,6	9,6	23,3	96,4	13,8	85,1
8	12,5	2221	12,8	10,9	28,8	134,5	16,8	118,8
9	13,8	2219	13,9	12,0	33,8	174,5	19,4	154,0
10	15,0	2215	14,9	13,0	38,4	214,9	21,5	189,7
11	16,1	2209	15,7	13,9	42,5	254,8	23,2	224,9
12	17,1	2200	16,4	14,8	46,2	293,6	24,5	259,2
13	18,0	2187	17,0	15,5	49,5	330,7	25,4	291,9
14	18,9	2170	17,5	16,2	52,4	365,6	26,1	322,8
15	19,7	2150	18,0	16,9	54,9	398,2	26,5	351,5

Equação de Sítio: Edilson
Equação de Volume: Embrapa
Equação de sortimento: Embrapa
tCO2 = (Vol+34%)x(Dens. Básica: 0,36)x(C: 0,50)x(CO2: 3,66)

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (15 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
10,0-12,0	1	12,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,0-14,0	32	13,7	2,7	0,0	0,0	0,0	2,1	0,6
14,0-16,0	279	15,0	33,2	0,0	0,0	0,0	30,1	3,1
16,0-18,0	778	16,2	124,7	0,0	0,0	42,7	71,4	10,6
18,0-20,0	785	17,3	163,8	0,0	0,0	91,5	59,7	12,6
20,0-22,0	257	18,3	67,8	0,0	0,0	48,3	17,3	2,2
22,0-24,0	18	19,3	5,8	0,0	0,0	4,0	1,5	0,3
Totais		**16,9**	**398,2**	**0,0**	**0,0**	**186,6**	**182,1**	**29,4**

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

Sistema PC MÉD

SisPinus

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO (Pinus Caribaea var. hondurensis)

Descrição: PC
Índice de Sítio: 20,3
Densidade (árvores por hectare): 2222
Porcentagem de sobrevivência (1º ano): 100 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	0,2	2222	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	1,8	2222	1,0	1,3	0,2	0,1	0,0	0,1
3	3,9	2222	3,5	3,3	2,1	3,0	1,0	2,7
4	6,1	2222	6,3	5,2	6,8	15,4	3,9	13,6
5	8,2	2222	8,6	7,1	13,0	39,8	8,0	35,1
6	10,0	2222	10,6	8,8	19,6	73,9	12,3	65,2
7	11,7	2221	12,2	10,3	25,9	114,4	16,3	101,0
8	13,3	2219	13,5	11,6	31,7	158,5	19,8	140,0
9	14,7	2215	14,6	12,8	37,1	204,4	22,7	180,5
10	15,9	2208	15,5	13,9	41,8	250,5	25,0	221,1
11	17,1	2198	16,3	14,9	46,1	295,6	26,9	260,9
12	18,2	2184	17,1	15,8	49,9	338,9	28,2	299,2
13	19,1	2165	17,7	16,6	53,2	379,9	29,2	335,4
14	20,1	2142	18,2	17,4	56,0	418,1	29,9	369,1
15	20,9	2116	18,7	18,1	58,4	453,3	30,2	400,1

Equação de Sítio: Edilson
Equação de Volume: Embrapa
Equação de sortimento: Embrapa
tCO2 = (Vol+34%)x(Dens. Básica: 0,36)x(C: 0,50)x(CO2: 3,66)

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (15 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
12,0-14,0	13	14,4	1,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,3
14,0-16,0	161	15,8	20,3	0,0	0,0	0,0	18,0	2,3
16,0-18,0	595	17,0	100,6	0,0	0,0	33,1	57,0	10,5
18,0-20,0	835	18,1	184,0	0,0	0,0	99,3	75,8	8,9
20,0-22,0	441	19,1	122,9	0,0	0,0	85,1	32,5	5,4
22,0-24,0	68	20,1	23,5	0,0	0,0	18,9	3,7	0,9
24,0-26,0	2	21,1	0,6	0,0	0,0	0,5	0,1	0,0
Totais		**18,1**	**453,3**	**0,0**	**0,0**	**236,9**	**187,9**	**28,4**

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

Sistema PC MÁX

SisPinus

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO (Pinus Caribaea var. hondurensis)

Descrição: PC
Índice de Sítio: 21,4
Densidade (árvores por hectare): 2222
Porcentagem de sobrevivência (1º ano): 100 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	0,2	2222	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	1,9	2222	1,1	1,4	0,2	0,1	0,1	0,1
3	4,1	2222	3,8	3,5	2,5	3,7	1,2	3,3
4	6,5	2222	6,7	5,6	7,8	18,7	4,7	16,5
5	8,6	2222	9,1	7,6	14,6	47,4	9,5	41,8
6	10,6	2221	11,1	9,3	21,6	86,9	14,5	76,7
7	12,4	2220	12,8	10,9	28,4	133,4	19,1	117,8
8	14,0	2216	14,1	12,4	34,6	183,8	23,0	162,3
9	15,5	2209	15,2	13,6	40,2	235,7	26,2	208,0
10	16,8	2199	16,2	14,8	45,1	287,3	28,7	253,6
11	18,0	2183	17,0	15,9	49,5	337,3	30,7	297,8
12	19,2	2163	17,7	16,8	53,3	384,9	32,1	339,8
13	20,2	2139	18,3	17,7	56,5	429,5	33,0	379,1
14	21,2	2111	18,9	18,5	59,2	470,6	33,6	415,4
15	22,1	2080	19,4	19,2	61,5	508,0	33,9	448,5

Equação de Sítio: Edilson
Equação de Volume: Embrapa
Equação de sortimento: Embrapa
tCO2 = (Vol+34%)x(Dens. Básica: 0,36)x(C: 0,50)x(CO2: 3,66)

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (15 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
12,0-14,0	5	15,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1
14,0-16,0	91	16,5	12,0	0,0	0,0	0,0	10,4	1,6
16,0-18,0	431	17,8	76,6	0,0	0,0	24,3	47,1	5,2
18,0-20,0	790	18,9	182,9	0,0	0,0	95,5	75,9	11,5
20,0-22,0	593	20,0	173,9	0,0	0,0	116,9	47,0	10,0
22,0-24,0	159	21,0	57,7	0,0	0,0	45,2	11,0	1,4
24,0-26,0	10	22,0	4,3	0,0	0,0	3,3	0,9	0,2
Totais		**19,2**	**508,0**	**0,0**	**0,0**	**285,2**	**192,8**	**30,0**

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

Sistema EM MÍN

SisEucalipto

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO - Eucalyptus grandis / urograndis

Descrição: EM
Índice de Sítio: 30,3
Densidade (árvores por hectare): 1667
Porcentagem de sobrevivência (1° ano): 100 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	5,5	1667	3,2	4,7	1,3	2,5	2,5	2,3
2	12,3	1666	8,3	10,6	9,1	37,8	18,9	35,6
3	17,6	1661	11,6	15,2	17,4	103,6	34,5	97,5
4	21,7	1650	13,7	18,8	24,4	179,3	44,8	168,8
5	25,1	1635	15,3	21,8	29,9	253,9	50,8	239,0
6	27,9	1616	16,4	24,2	34,2	322,8	53,8	303,9
7	30,3	1595	17,3	26,3	37,5	384,6	54,9	362,1

O povoamento foi desbastado pela remoção de 595 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
8	32,4	990	18,7	29,8	27,1	315,2	51,9	296,8
9	34,2	980	19,4	31,4	29,0	355,2	50,6	334,4
10	35,8	969	20,0	32,7	30,6	390,2	49,0	367,4
11	37,3	958	20,6	34,0	31,8	420,8	47,3	396,2
12	38,6	947	21,0	35,0	32,8	447,6	45,6	421,5
13	39,8	936	21,4	36,0	33,5	471,2	43,9	443,6
14	40,9	925	21,7	36,9	34,2	491,9	42,3	463,1

O povoamento foi desbastado pela remoção de 325 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
15	41,9	597	21,6	41,5	21,9	354,9	39,7	334,1
16	42,8	595	22,0	42,3	22,6	373,2	38,4	351,4
17	43,7	592	22,3	43,0	23,2	389,7	37,1	366,9
18	44,5	590	22,6	43,6	23,8	404,3	35,8	380,7
19	45,3	587	22,6	44,1	23,6	405,5	34,0	381,8
20	46,0	585	22,9	44,4	24,1	417,8	32,9	393,4
21	46,7	582	23,2	44,6	24,6	428,1	31,9	403,1

Equação de Sítio: Embrapa (IS 7 anos)
Equação de Volume: Embrapa
Equação de sortimento: Embrapa
tCO2 = (Vol+25%)x(Dens. Básica: 0,49)x(C: 0,42)x(CO2: 3,66)

DESBASTES

Idade	Volume Removido	tCO2	Volume Remanescente
7	99,9	94,1	284,6
14	141,0	132,8	350,9

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (7 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
10,0-12,0	22	24,1	2,1	0,0	0,0	1,5	0,6
12,0-14,0	169	25,1	22,5	0,0	0,0	18,9	3,6
14,0-16,0	297	25,8	51,1	0,0	0,0	46,2	4,9
16,0-18,0	87	24,9	18,9	0,0	0,0	17,3	1,5
18,0-20,0	18	25,4	4,8	0,0	0,0	4,5	0,3
20,0-22,0	1	25,9	0,5	0,0	0,2	0,3	0,0
Totais		**25,9**	**99,9**	**0,0**	**0,2**	**88,7**	**11,1**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (14 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
18,0-20,0	147	34,5	59,4	0,0	9,7	47,0	2,7
20,0-22,0	158	36,6	70,4	0,0	28,6	39,4	2,4
22,0-24,0	19	33,3	10,1	0,0	5,6	4,3	0,2
24,0-26,0	2	34,2	1,1	0,1	0,7	0,3	0,0
Totais		**35,0**	**141,0**	**0,1**	**44,5**	**91,0**	**5,3**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (21 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
22,0-24,0	571	43,8	418,5	0,0	221,5	185,2	11,9
24,0-26,0	11	46,2	9,6	0,7	6,0	2,7	0,2

Totais		**44,6**	**428,1**	**0,7**	**227,4**	**187,9**	**12,1**

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

Sistema EM MÉD

SisEucalipto

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO - Eucalyptus grandis / urograndis

Descrição: EM
Índice de Sítio: 31,8
Densidade (árvores por hectare): 1667
Porcentagem de sobrevivência (1º ano): 100 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	5,7	1667	3,4	5,0	1,5	3,0	3,0	2,8
2	12,9	1665	8,7	11,2	10,0	43,5	21,7	40,9
3	18,4	1658	12,0	16,0	18,8	117,5	39,2	110,6
4	22,8	1645	14,2	19,8	26,1	201,5	50,4	189,7
5	26,3	1628	15,8	22,8	31,8	283,3	56,7	266,8
6	29,2	1608	16,9	25,4	36,1	358,3	59,7	337,3
7	31,8	1586	17,8	27,6	39,4	424,9	60,7	400,1

O povoamento foi desbastado pela remoção de 586 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
8	33,9	990	19,1	31,3	28,5	348,3	57,2	327,9
9	35,8	979	19,9	33,0	30,4	391,6	55,7	368,7
10	37,5	968	20,5	34,5	32,0	429,5	53,9	404,4
11	39,1	957	21,0	35,7	33,2	462,6	52,0	435,6
12	40,5	946	21,4	36,9	34,2	491,6	50,1	462,9
13	41,7	936	21,8	37,9	35,0	517,1	48,2	486,9
14	42,9	925	22,1	38,9	35,6	539,5	46,4	508,0

O povoamento foi desbastado pela remoção de 325 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
15	43,9	598	22,1	43,5	22,9	388,8	43,6	366,0
16	44,9	595	22,5	44,4	23,6	408,8	42,2	384,9
17	45,8	593	22,8	45,2	24,2	426,9	40,8	401,9
18	46,7	591	22,8	45,8	24,0	429,5	38,6	404,4
19	47,5	588	23,1	46,3	24,6	445,4	37,4	419,3
20	48,2	586	23,4	46,7	25,2	459,0	36,2	432,2
21	48,9	584	23,7	46,9	25,7	470,5	35,1	443,0

Equação de Sítio: Embrapa (IS 7 anos)
Equação de Volume: Embrapa
Equação de sortimento: Embrapa
tCO2 = (Vol+25%)x(Dens. Básica: 0,49)x(C: 0,42)x(CO2: 3,66)

DESBASTES

Idade	Volume Removido	tCO2	Volume Remanescente
7	109,5	103,1	315,4
14	156,4	147,2	383,2

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (7 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
10,0-12,0	10	25,0	1,0	0,0	0,0	0,7	0,3
12,0-14,0	121	26,2	16,9	0,0	0,0	13,8	3,1
14,0-16,0	320	26,9	59,1	0,0	0,0	52,2	6,8
16,0-18,0	109	26,1	24,9	0,0	0,0	23,1	1,8
18,0-20,0	24	26,7	6,9	0,0	0,0	6,5	0,4
20,0-22,0	2	27,2	0,7	0,0	0,3	0,4	0,0
Totais		**27,2**	**109,5**	**0,0**	**0,3**	**96,8**	**12,4**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (14 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
18,0-20,0	54	34,9	23,0	0,0	3,7	18,1	1,1
20,0-22,0	237	38,1	113,7	0,0	44,6	65,3	3,8
22,0-24,0	31	34,9	17,4	0,0	9,2	7,7	0,4
24,0-26,0	3	35,9	2,1	0,2	1,2	0,7	0,0
Totais		**37,0**	**156,4**	**0,2**	**58,7**	**91,9**	**5,4**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (21 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
22,0-24,0	516	48,9	411,5	0,0	230,4	169,0	12,1
24,0-26,0	67	48,3	58,9	4,1	35,5	18,2	1,1

Totais		**46,9**	**470,5**	**4,1**	**265,9**	**187,2**	**13,2**

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

Sistema EM MÁX

SisEucalipto

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO - Eucalyptus grandis / urograndis

Descrição: EM
Índice de Sítio: 33,1
Densidade (árvores por hectare): 1667
Porcentagem de sobrevivência (1º ano): 100 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	6,0	1667	3,6	5,2	1,7	3,5	3,5	3,3
2	13,5	1664	9,1	11,7	10,8	49,3	24,6	46,4
3	19,2	1656	12,5	16,7	20,2	131,5	43,8	123,8
4	23,8	1641	14,7	20,6	27,8	223,7	55,9	210,6
5	27,4	1622	16,2	23,9	33,6	312,5	62,5	294,3
6	30,5	1601	17,4	26,6	38,0	393,2	65,5	370,2
7	33,1	1578	18,2	28,9	41,3	464,5	66,4	437,4

O povoamento foi desbastado pela remoção de 578 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
8	35,4	990	19,6	32,8	29,8	381,0	62,5	358,7
9	37,4	979	20,3	34,6	31,7	427,6	60,7	402,6
10	39,2	968	20,9	36,1	33,3	468,4	58,7	441,0
11	40,8	957	21,4	37,4	34,5	504,0	56,6	474,6
12	42,2	947	21,9	38,7	35,5	535,3	54,5	504,0
13	43,6	936	22,2	39,7	36,3	562,7	52,4	529,8
14	44,8	926	22,5	40,7	37,0	587,0	50,4	552,7

O povoamento foi desbastado pela remoção de 326 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
15	45,9	598	22,5	45,5	23,8	422,1	47,5	397,4
16	46,9	596	22,9	46,4	24,5	443,8	45,9	417,8
17	47,8	594	23,2	47,2	25,2	463,4	44,4	436,3
18	48,7	592	23,2	47,9	25,0	467,4	42,1	440,1
19	49,6	589	23,5	48,5	25,6	484,7	40,8	456,3
20	50,4	587	23,8	48,9	26,2	499,6	39,5	470,4
21	51,1	585	24,1	49,1	26,7	512,3	38,3	482,3

Equação de Sítio: Embrapa (IS 7 anos)
Equação de Volume: Embrapa
Equação de sortimento: Embrapa
tCO2 = (Vol+25%)x(Dens. Básica: 0,49)x(C: 0,42)x(CO2: 3,66)

DESBASTES

Idade	Volume Removido	tCO2	Volume Remanescente
7	119,1	112,1	345,4
14	172,0	161,9	415,0

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (7 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
10,0-12,0	4	25,7	0,4	0,0	0,0	0,3	0,1
12,0-14,0	84	27,2	12,3	0,0	0,0	10,3	1,9
14,0-16,0	285	28,0	55,3	0,0	0,0	49,7	5,6
16,0-18,0	169	28,6	40,0	0,0	0,0	36,7	3,2
18,0-20,0	34	27,8	10,0	0,0	2,0	7,5	0,5
20,0-22,0	3	28,4	1,2	0,0	0,4	0,7	0,0
Totais		**28,4**	**119,1**	**0,0**	**2,4**	**105,3**	**11,4**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (14 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
18,0-20,0	9	44,8	3,9	0,0	0,5	3,2	0,2
20,0-22,0	265	39,6	136,5	0,0	51,9	80,2	4,4
22,0-24,0	47	36,5	27,7	0,0	14,2	12,9	0,6
24,0-26,0	5	37,5	3,5	0,3	2,0	1,2	0,1
Totais		**38,9**	**172,0**	**0,3**	**68,6**	**97,5**	**5,3**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (21 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
22,0-24,0	256	51,1	214,5	0,0	116,1	93,1	5,2
24,0-26,0	330	50,2	297,3	19,9	192,5	79,0	5,9

Totais		**49,1**	**512,3**	**19,9**	**308,6**	**172,2**	**11,2**

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

Sistema PM MÍN

SisPinus

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO (Pinus Caribaea var. hondurensis)

Descrição: PM
Índice de Sítio: 22,1
Densidade (árvores por hectare): 1667
Porcentagem de sobrevivência (1º ano): 100 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	0,2	1667	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	1,9	1667	1,2	1,5	0,2	0,1	0,1	0,1
3	4,3	1667	4,1	3,6	2,1	3,4	1,1	3,0
4	6,7	1667	7,2	5,9	6,8	17,0	4,3	15,0
5	8,9	1667	9,9	7,9	12,8	43,6	8,7	38,5
6	10,9	1667	12,1	9,8	19,1	80,3	13,4	70,9
7	12,8	1666	13,9	11,4	25,2	123,8	17,7	109,3
8	14,5	1664	15,3	12,9	30,7	171,0	21,4	151,0

O povoamento foi desbastado pela remoção de 664 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
9	16,6	1000	17,7	15,1	24,6	159,9	23,7	141,1
10	18,0	999	18,9	16,3	28,1	197,2	25,0	174,1
11	19,2	999	20,0	17,4	31,3	234,4	26,1	206,9
12	20,4	998	20,9	18,4	34,3	271,2	27,0	239,4

O povoamento foi desbastado pela remoção de 298 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
13	21,8	700	22,7	20,3	28,3	246,4	28,0	217,5
14	22,7	699	23,5	21,1	30,4	276,4	28,2	244,0
15	23,7	698	24,3	21,9	32,4	305,4	28,2	269,6
16	24,5	697	25,0	22,7	34,2	333,4	28,2	294,4

O povoamento foi desbastado pela remoção de 297 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
17	25,7	400	26,7	24,6	22,4	236,3	28,2	208,6
18	26,5	400	27,5	25,3	23,8	258,5	27,8	228,2
19	27,2	400	28,3	25,9	25,1	279,9	27,5	247,1
20	27,9	399	29,0	26,5	26,3	300,7	27,2	265,5
21	28,6	399	29,6	27,1	27,5	321,0	26,8	283,4

Equação de Sítio: Edilson
Equação de Volume: Embrapa
Equação de sortimento: Embrapa
tCO2 = (Vol+34%)x(Dens. Básica: 0,36)x(C: 0,50)x(CO2: 3,66)

DESBASTES

Idade	Volume Removido	tCO2	Volume Remanescente
8	53,1	46,9	118,0
12	65,0	57,4	206,2
16	124,6	110,0	208,9

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (8 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
10,0-12,0	23	11,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,5
12,0-14,0	291	11,9	20,7	0,0	0,0	0,0	17,2	3,5
14,0-16,0	319	12,7	27,8	0,0	0,0	0,0	25,0	2,8
16,0-18,0	31	11,9	3,4	0,0	0,0	0,0	3,1	0,3
Totais		**12,5**	**53,1**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**46,0**	**7,1**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (12 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
16,0-18,0	13	16,5	2,3	0,0	0,0	0,8	1,3	0,2
18,0-20,0	210	17,7	44,3	0,0	0,0	24,3	16,2	3,8
20,0-22,0	68	16,0	16,3	0,0	0,0	9,7	5,9	0,8
22,0-24,0	7	16,5	2,0	0,0	0,0	1,5	0,4	0,1
Totais		**17,3**	**65,0**	**0,0**	**0,0**	**36,3**	**23,7**	**4,9**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (16 ANOS)

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
22,0-24,0	177	21,8	71,2	0,0	0,0	54,5	14,2	2,4
24,0-26,0	109	22,8	48,0	0,0	0,0	40,8	5,7	1,5
26,0-28,0	10	21,2	5,1	0,0	1,4	3,1	0,5	0,1
Totais		**21,9**	**124,6**	**0,0**	**1,4**	**98,4**	**20,4**	**4,0**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (21 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
26,0-28,0	24	25,8	16,2	0,0	3,7	10,5	1,5	0,5
28,0-30,0	243	27,0	186,2	0,0	73,8	85,6	22,7	4,0
30,0-32,0	118	27,7	104,5	0,0	55,5	39,7	7,4	1,9
32,0-34,0	13	28,2	13,6	0,0	7,1	5,2	1,2	0,1
Totais		**27,1**	**321,0**	**0,0**	**140,2**	**140,9**	**32,9**	**6,5**

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

Sistema PM MÉD

SisPinus

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO (Pinus Caribaea var. hondurensis)

Descrição: PM
Índice de Sítio: 23,3
Densidade (árvores por hectare): 1667
Porcentagem de sobrevivência (1º ano): 100 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	0,2	1667	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	2,0	1667	1,3	1,6	0,2	0,1	0,1	0,1
3	4,5	1667	4,4	3,9	2,5	4,1	1,4	3,6
4	7,0	1667	7,6	6,2	7,6	20,4	5,1	18,0
5	9,4	1667	10,4	8,4	14,2	51,3	10,3	45,3
6	11,5	1666	12,7	10,4	21,0	93,6	15,6	82,6
7	13,5	1665	14,5	12,1	27,4	143,1	20,4	126,3
8	15,2	1662	16,0	13,7	33,3	196,5	24,6	173,4

O povoamento foi desbastado pela remoção de 662 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
9	17,5	1000	18,4	16,0	26,6	183,0	27,1	161,6
10	18,9	999	19,7	17,3	30,3	224,9	28,6	198,6
11	20,2	998	20,7	18,4	33,7	266,6	29,8	235,4
12	21,5	996	21,7	19,5	36,7	307,7	30,7	271,6

O povoamento foi desbastado pela remoção de 296 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
13	22,9	699	23,5	21,4	30,3	278,9	31,8	246,2
14	24,0	698	24,4	22,3	32,5	312,2	32,0	275,6
15	24,9	697	25,1	23,2	34,6	344,4	32,0	304,0
16	25,9	696	25,8	24,0	36,4	375,3	31,9	331,4

O povoamento foi desbastado pela remoção de 296 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
17	27,1	400	27,6	26,0	23,8	266,3	31,9	235,0
18	27,9	400	28,4	26,7	25,3	290,8	31,5	256,7
19	28,7	399	29,2	27,4	26,7	314,5	31,1	277,6
20	29,4	399	29,9	28,0	28,0	337,5	30,7	298,0
21	30,1	399	30,5	28,7	29,2	360,0	30,3	317,8

Equação de Sítio: Edilson
Equação de Volume: Embrapa
Equação de sortimento: Embrapa
tCO2 = (Vol+34%)x(Dens. Básica: 0,36)x(C: 0,50)x(CO2: 3,66)

DESBASTES

Idade	Volume Removido	tCO2	Volume Remanescente
8	61,2	54,0	135,3
12	73,9	65,2	233,7
16	140,4	124,0	234,9

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (8 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
10,0-12,0	10	11,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2
12,0-14,0	166	12,5	12,5	0,0	0,0	0,0	10,1	2,4
14,0-16,0	404	13,3	38,5	0,0	0,0	0,0	34,0	4,5
16,0-18,0	80	12,3	9,4	0,0	0,0	0,0	8,6	0,8
18,0-20,0	2	13,3	0,3	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0
Totais		**13,2**	**61,2**	**0,0**	**0,0**	**0,1**	**53,1**	**8,0**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (12 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
16,0-18,0	1	17,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
18,0-20,0	143	18,4	33,2	0,0	0,0	17,7	13,7	1,8
20,0-22,0	131	19,3	34,0	0,0	0,0	23,4	9,0	1,6
22,0-24,0	20	17,3	6,2	0,0	0,0	4,6	1,3	0,3
24,0-26,0	1	18,0	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
Totais		**18,3**	**73,9**	**0,0**	**0,0**	**46,0**	**24,2**	**3,7**

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (16 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
22,0-24,0	52	22,5	22,1	0,0	0,0	16,6	4,6	1,0
24,0-26,0	213	23,7	101,5	0,0	0,0	84,4	15,0	2,1
26,0-28,0	30	22,3	16,0	0,0	4,2	9,6	1,8	0,4
28,0-30,0	1	22,9	0,8	0,0	0,2	0,5	0,1	0,0
Totais		**23,2**	**140,4**	**0,0**	**4,4**	**111,1**	**21,5**	**3,5**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (21 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
28,0-30,0	147	28,1	120,5	0,0	46,3	62,8	8,9	2,5
30,0-32,0	207	29,0	191,8	0,0	98,6	72,7	17,9	2,7
32,0-34,0	41	29,6	44,1	0,0	27,5	13,7	2,3	0,5
34,0-36,0	3	30,1	3,3	0,4	1,8	0,9	0,1	0,0
Totais		**28,7**	**360,0**	**0,4**	**174,2**	**150,2**	**29,2**	**5,7**

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

Sistema PM MÁX

SisPinus

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO (Pinus Caribaea var. hondurensis)

Descrição: PM
Índice de Sítio: 24,4
Densidade (árvores por hectare): 1667
Porcentagem de sobrevivência (1º ano): 100 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	0,2	1667	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	2,1	1667	1,4	1,7	0,2	0,2	0,1	0,2
3	4,7	1667	4,6	4,1	2,8	5,0	1,7	4,4
4	7,4	1667	8,1	6,5	8,5	24,0	6,0	21,2
5	9,8	1667	10,9	8,8	15,7	59,5	11,9	52,6
6	12,1	1666	13,2	10,9	22,9	107,5	17,9	94,9
7	14,1	1663	15,1	12,8	29,7	163,2	23,3	144,1
8	16,0	1659	16,6	14,5	35,8	222,8	27,9	196,7

O povoamento foi desbastado pela remoção de 659 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
9	18,4	999	19,1	16,9	28,6	207,0	30,7	182,8
10	19,9	998	20,3	18,2	32,5	253,7	32,3	223,9
11	21,2	997	21,4	19,4	36,0	299,8	33,6	264,7
12	22,5	995	22,4	20,5	39,1	345,1	34,5	304,6

O povoamento foi desbastado pela remoção de 295 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
13	24,1	699	24,2	22,5	32,2	312,2	35,7	275,6
14	25,2	698	25,1	23,5	34,5	348,9	35,8	308,0
15	26,2	696	25,9	24,4	36,6	384,2	35,8	339,2
16	27,2	695	26,6	25,2	38,5	418,1	35,7	369,1

O povoamento foi desbastado pela remoção de 295 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
17	28,5	400	28,4	27,3	25,3	296,9	35,6	262,1
18	29,3	400	29,2	28,1	26,8	323,8	35,2	285,9
19	30,1	399	30,0	28,8	28,2	349,8	34,7	308,8
20	30,9	399	30,7	29,5	29,6	375,0	34,2	331,1
21	31,6	399	31,4	30,2	30,8	399,6	33,7	352,7

Equação de Sítio: Edilson
Equação de Volume: Embrapa
Equação de sortimento: Embrapa
tCO2 = (Vol+34%)x(Dens. Básica: 0,36)x(C: 0,50)x(CO2: 3,66)

DESBASTES

Idade	Volume Removido	tCO2	Volume Remanescente
8	69,5	61,3	153,3
12	83,0	73,3	262,1
16	156,6	138,2	261,4

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (8 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
10,0-12,0	4	12,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
12,0-14,0	93	13,1	7,3	0,0	0,0	0,0	5,8	1,6
14,0-16,0	413	13,8	42,9	0,0	0,0	0,0	37,1	5,8
16,0-18,0	139	12,7	17,4	0,0	0,0	0,0	15,7	1,7
18,0-20,0	10	13,6	1,6	0,0	0,0	0,6	0,8	0,1
Totais		**14,0**	**69,5**	**0,0**	**0,0**	**0,6**	**59,5**	**9,3**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (12 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
18,0-20,0	53	19,0	13,1	0,0	0,0	6,8	5,4	0,9
20,0-22,0	197	20,0	55,1	0,0	0,0	36,9	14,9	3,3
22,0-24,0	41	18,1	13,4	0,0	0,0	9,6	3,4	0,4
24,0-26,0	3	18,7	1,3	0,0	0,0	1,1	0,2	0,0
Totais		**19,4**	**83,0**	**0,0**	**0,0**	**54,5**	**24,0**	**4,5**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (16 ANOS)

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
22,0-24,0	5	22,9	2,3	0,0	0,0	1,7	0,5	0,1
24,0-26,0	220	24,6	114,1	0,0	0,0	93,0	17,9	3,3
26,0-28,0	64	23,3	36,8	0,0	9,3	21,7	5,3	0,6
28,0-30,0	5	24,0	3,3	0,0	0,8	2,2	0,3	0,0
Totais		**24,4**	**156,6**	**0,0**	**10,1**	**118,5**	**23,9**	**4,0**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (21 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
28,0-30,0	44	29,0	37,9	0,0	14,2	19,6	3,5	0,5
30,0-32,0	250	30,1	243,7	0,0	121,5	105,0	13,7	3,5
32,0-34,0	94	30,9	105,0	0,0	63,6	33,1	7,4	0,9
34,0-36,0	10	31,4	12,5	1,4	6,8	3,5	0,6	0,2
Totais		**30,2**	**399,6**	**1,4**	**206,0**	**161,2**	**25,3**	**5,1**

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

Sistema PRM MÍN

SisPinus

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO (Pinus Caribaea var. hondurensis)

Descrição: PRM MÍN
Índice de Sítio: 22,3
Densidade (árvores por hectare): 1667
Porcentagem de sobrevivência (1º ano): 100 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	0,2	1667	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	1,9	1667	1,2	1,5	0,2	0,1	0,1	0,1
3	4,3	1667	4,1	3,7	2,2	3,5	1,2	3,1
4	6,7	1667	7,3	5,9	6,9	17,5	4,4	15,5
5	9,0	1667	10,0	8,0	13,0	44,7	8,9	39,5
6	11,0	1667	12,2	9,9	19,4	82,3	13,7	72,7
7	12,9	1666	14,0	11,5	25,5	126,7	18,1	111,9
8	14,6	1664	15,4	13,1	31,2	174,9	21,9	154,4

O povoamento foi desbastado pela remoção de 497 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
9	16,2	1166	17,0	14,8	26,5	168,2	24,5	148,5
10	17,6	1164	18,2	16,0	30,2	207,4	26,0	183,1
11	18,8	1161	19,2	17,1	33,5	246,2	27,1	217,4
12	20,0	1156	20,0	18,1	36,5	283,9	28,0	250,7

O povoamento foi desbastado pela remoção de 206 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
13	21,3	945	21,3	19,6	33,6	282,4	29,6	249,3
14	22,3	939	21,9	20,4	35,5	311,4	29,6	274,9
15	23,2	932	22,5	21,2	37,2	338,6	29,4	298,9
16	24,0	924	23,1	21,9	38,7	363,9	29,2	321,2
17	24,8	916	23,6	22,5	39,9	387,2	28,8	341,9
18	25,6	906	24,0	23,2	41,0	408,8	28,4	360,8
19	26,2	896	24,4	23,7	42,0	428,4	28,0	378,2
20	26,9	886	24,8	24,3	42,8	446,4	27,5	394,0
21	27,5	875	25,1	24,8	43,4	462,6	26,9	408,4

Equação de Sítio: Edilson
Equação de Volume: Embrapa
Equação de sortimento: Embrapa
tCO2 = (Vol+34%)x(Dens. Básica: 0,36)x(C: 0,50)x(CO2: 3,66)

DESBASTES

Idade	Volume Removido	tCO2	Volume Remanescente
8	52,2	46,1	122,7
12	50,7	44,7	233,2

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (8 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
10,0-12,0	6	11,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
12,0-14,0	80	12,0	5,8	0,0	0,0	0,0	4,8	1,0
14,0-16,0	240	12,8	23,7	0,0	0,0	0,0	21,3	2,4
16,0-18,0	157	13,6	20,1	0,0	0,0	0,0	17,5	2,6
18,0-20,0	14	14,3	2,3	0,0	0,0	0,9	1,3	0,1
Totais		**13,1**	**52,2**	**0,0**	**0,0**	**0,9**	**45,1**	**6,3**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (12 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
14,0-16,0	4	15,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1
16,0-18,0	27	16,7	4,5	0,0	0,0	1,5	2,6	0,4
18,0-20,0	72	17,5	15,7	0,0	0,0	8,7	5,7	1,3
20,0-22,0	76	18,3	20,5	0,0	0,0	14,6	5,2	0,7
22,0-24,0	26	19,0	8,7	0,0	0,0	6,0	2,3	0,4
24,0-26,0	2	19,8	0,7	0,0	0,0	0,6	0,1	0,0
Totais		**18,1**	**50,7**	**0,0**	**0,0**	**31,4**	**16,4**	**2,9**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (21 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
18,0-20,0	9	20,5	2,5	0,0	0,0	1,2	1,1	0,1
20,0-22,0	66	22,0	22,2	0,0	0,0	13,9	7,0	1,2
22,0-24,0	200	23,3	84,9	0,0	0,0	62,3	20,2	2,4
24,0-26,0	301	24,5	156,5	0,0	0,0	127,8	24,3	4,3
26,0-28,0	221	25,6	138,7	0,0	32,2	89,8	13,0	3,7
28,0-30,0	70	26,6	51,9	0,0	20,8	24,0	6,2	1,0
30,0-32,0	7	27,6	5,9	0,0	3,1	2,2	0,4	0,1
Totais		**24,8**	**462,6**	**0,0**	**56,1**	**321,3**	**72,3**	**12,8**

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

Sistema PRM MÉD

SisPinus

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO (Pinus Caribaea var. hondurensis)

Descrição: PRM MÉDIA
Índice de Sítio: 23,8
Densidade (árvores por hectare): 1667
Porcentagem de sobrevivência (1º ano): 100 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	0,2	1667	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	2,0	1667	1,3	1,6	0,2	0,2	0,1	0,1
3	4,6	1667	4,5	4,0	2,6	4,5	1,5	3,9
4	7,2	1667	7,8	6,4	8,0	21,9	5,5	19,3
5	9,6	1667	10,6	8,6	14,8	54,7	10,9	48,3
6	11,8	1666	12,9	10,6	21,8	99,4	16,6	87,8
7	13,8	1664	14,7	12,4	28,4	151,5	21,6	133,8
8	15,6	1661	16,2	14,0	34,4	207,6	25,9	183,2

O povoamento foi desbastado pela remoção de 494 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
9	17,3	1164	17,8	15,9	29,1	198,7	28,9	175,4
10	18,8	1161	19,0	17,2	33,0	243,5	30,5	214,9
11	20,1	1155	20,0	18,4	36,4	287,3	31,7	253,6
12	21,3	1149	20,9	19,5	39,4	329,5	32,6	290,8

O povoamento foi desbastado pela remoção de 199 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
13	22,8	942	22,1	21,0	36,2	327,7	34,3	289,3
14	23,8	934	22,8	21,9	38,1	359,3	34,1	317,2
15	24,8	924	23,4	22,8	39,7	388,4	33,8	342,9
16	25,7	913	23,9	23,5	41,0	415,2	33,4	366,5
17	26,5	901	24,4	24,3	42,1	439,6	32,8	388,1
18	27,3	889	24,8	24,9	43,1	461,8	32,3	407,7
19	28,1	877	25,2	25,5	43,9	481,8	31,6	425,3
20	28,7	864	25,6	26,1	44,5	499,8	30,9	441,2
21	29,4	851	25,9	26,7	45,0	515,8	30,2	455,4

Equação de Sítio: Edilson
Equação de Volume: Embrapa
Equação de sortimento: Embrapa
tCO2 = (Vol+34%)x(Dens. Básica: 0,36)x(C: 0,50)x(CO2: 3,66)

DESBASTES

Idade	Volume Removido	tCO2	Volume Remanescente
8	61,7	54,5	145,9
12	57,0	50,3	272,4

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (8 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
10,0-12,0	2	11,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
12,0-14,0	39	12,7	3,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,6
14,0-16,0	179	13,5	18,9	0,0	0,0	0,0	16,5	2,4
16,0-18,0	218	14,2	29,9	0,0	0,0	0,0	27,7	2,2
18,0-20,0	55	14,9	9,6	0,0	0,0	3,5	5,5	0,5
20,0-22,0	1	15,7	0,3	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0
Totais		**14,0**	**61,7**	**0,0**	**0,0**	**3,7**	**52,3**	**5,7**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (12 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
14,0-16,0	1	16,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
16,0-18,0	14	17,8	2,5	0,0	0,0	0,8	1,6	0,2
18,0-20,0	51	18,6	11,8	0,0	0,0	6,3	4,9	0,7
20,0-22,0	78	19,4	22,4	0,0	0,0	15,4	6,0	1,1
22,0-24,0	46	20,1	16,4	0,0	0,0	13,2	2,5	0,6
24,0-26,0	8	20,8	3,6	0,0	0,0	2,8	0,7	0,1
Totais		**19,5**	**57,0**	**0,0**	**0,0**	**38,4**	**15,8**	**2,7**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (21 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

18,0-20,0	4	21,9	1,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,1
20,0-22,0	35	23,4	12,7	0,0	0,0	7,6	4,5	0,6
22,0-24,0	138	24,8	62,5	0,0	0,0	44,1	15,7	2,7
24,0-26,0	265	25,9	146,6	0,0	0,0	115,8	27,5	3,3
26,0-28,0	260	27,0	173,2	0,0	38,3	109,8	21,3	3,8
28,0-30,0	124	28,1	97,3	0,0	37,4	50,8	7,2	2,0
30,0-32,0	23	29,1	21,3	0,0	10,9	8,1	2,0	0,3
32,0-34,0	1	30,0	1,1	0,0	0,7	0,4	0,1	0,0
Totais		**26,7**	**515,8**	**0,0**	**87,4**	**337,0**	**78,7**	**12,8**

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

Sistema PRM MÁX

SisPinus

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO (Pinus Caribaea var. hondurensis)

Descrição: PRM MAX
Índice de Sítio: 25,2
Densidade (árvores por hectare): 1667
Porcentagem de sobrevivência (1º ano): 100 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	0,2	1667	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	2,2	1667	1,5	1,8	0,3	0,2	0,1	0,2
3	4,9	1667	4,9	4,2	3,1	5,6	1,9	5,0
4	7,6	1667	8,4	6,8	9,2	26,9	6,7	23,7
5	10,2	1666	11,3	9,2	16,7	65,9	13,2	58,2
6	12,5	1665	13,6	11,3	24,3	118,2	19,7	104,4
7	14,6	1661	15,5	13,3	31,3	178,6	25,5	157,6
8	16,5	1655	17,0	15,0	37,6	242,8	30,4	214,4

O povoamento foi desbastado pela remoção de 488 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
9	18,4	1163	18,6	17,0	31,7	231,6	33,7	204,5
10	20,0	1156	19,8	18,4	35,6	281,8	35,3	248,8
11	21,4	1149	20,8	19,7	39,1	330,5	36,6	291,7
12	22,7	1139	21,7	20,8	42,1	376,8	37,4	332,7

O povoamento foi desbastado pela remoção de 189 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
13	24,3	939	22,9	22,5	38,8	375,3	39,2	331,3
14	25,4	927	23,6	23,5	40,5	409,1	38,8	361,1
15	26,4	915	24,2	24,4	42,0	439,9	38,3	388,3
16	27,4	901	24,7	25,2	43,1	467,8	37,6	413,0
17	28,3	887	25,2	26,0	44,1	493,0	36,9	435,2
18	29,1	873	25,6	26,7	44,9	515,5	36,1	455,1
19	29,9	858	26,0	27,4	45,5	535,6	35,3	472,8
20	30,6	843	26,4	28,0	46,0	553,4	34,4	488,5
21	31,3	828	26,7	28,6	46,3	569,1	33,5	502,4

Equação de Sítio: Edilson
Equação de Volume: Embrapa
Equação de sortimento: Embrapa
tCO2 = (Vol+34%)x(Dens. Básica: 0,36)x(C: 0,50)x(CO2: 3,66)

DESBASTES

Idade	Volume Removido	tCO2	Volume Remanescente
8	71,6	63,2	171,2
12	62,6	55,2	314,3

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (8 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
10,0-12,0	1	12,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,0-14,0	18	13,5	1,5	0,0	0,0	0,0	1,1	0,3
14,0-16,0	117	14,2	13,1	0,0	0,0	0,0	11,1	2,0
16,0-18,0	225	14,9	32,9	0,0	0,0	12,0	16,9	3,9
18,0-20,0	118	15,6	21,7	0,0	0,0	7,7	12,5	1,6
20,0-22,0	11	16,3	2,4	0,0	0,0	1,4	0,9	0,1
Totais		**15,0**	**71,6**	**0,0**	**0,0**	**21,1**	**42,6**	**7,9**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (12 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
16,0-18,0	7	18,8	1,3	0,0	0,0	0,4	0,8	0,1
18,0-20,0	33	19,7	8,1	0,0	0,0	4,1	3,4	0,6
20,0-22,0	67	20,4	20,7	0,0	0,0	13,7	6,3	0,7
22,0-24,0	60	21,2	22,4	0,0	0,0	17,5	4,3	0,6
24,0-26,0	20	21,9	9,0	0,0	0,0	6,9	1,8	0,3
26,0-28,0	2	22,6	0,9	0,0	0,2	0,5	0,1	0,0
Totais		**20,8**	**62,6**	**0,0**	**0,2**	**43,1**	**16,8**	**2,4**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (21 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Lamin. Esp.	Laminação	Serraria	Celulose	Energia

ANEXO 1 – Resultado da simulação da produção e sortimento da fase agrícola de 1 hectare dos sistemas de produção florestal nos *softwares* SisPinus e SisEucalipto (em m^3). (continuação)

18,0-20,0	1	23,3	0,4	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0
20,0-22,0	18	24,9	7,0	0,0	0,0	4,9	1,8	0,3
22,0-24,0	92	26,3	44,1	0,0	0,0	34,6	8,4	1,1
24,0-26,0	218	27,5	128,2	0,0	0,0	108,8	16,2	3,2
26,0-28,0	270	28,5	190,4	0,0	40,2	118,0	28,7	3,5
28,0-30,0	173	29,6	144,0	0,0	53,0	74,3	14,2	2,5
30,0-32,0	51	30,5	49,2	0,0	24,3	21,2	2,9	0,8
32,0-34,0	5	31,5	5,7	0,0	3,4	1,8	0,4	0,1
Totais		**28,6**	**569,1**	**0,0**	**120,9**	**363,7**	**72,8**	**11,6**