Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Alternativas de colheita de *Eucalyptus* e seus impactos no solo e na vegetação nativa em processo de regeneração num plantio abandonado

João Carlos Teixeira Mendes

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa:Recursos Florestais. Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

Piracicaba
2012

João Carlos Teixeira Mendes
Engenheiro Florestal

Alternativas de colheita de *Eucalyptus* e seus impactos no solo e na vegetação nativa em processo de regeneração num plantio abandonado versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **FERNANDO SEIXAS**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Programa:Recursos Florestais. Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

Piracicaba
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP

Mendes, João Carlos Teixeira
Alternativas de colheita de *Eucalyptus* e seus impactos no solo e na vegetação nativa em processo de regeneração num plantio abandonado / João Carlos Teixeira Mendes.- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2012.
107 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Colheita 2. Eucalipto - Extração 3. Impactos no solo 4. Plantas nativas 5. Reserva legal - Uso 6. Restauração I. Título

CDD 634.9734
M538a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

A toda a minha família por estar sempre ao meu lado. Em especial: aos meus pais, Anair e José Carlos, pelo incentivo e apoio nos momentos difíceis; e à Lili e à Luiza, esposa e filha, pelo amor eterno e por ser a razão da minha perseverança!

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Fernando Seixas do LCF/ESALQ pela amizade, pelos ensinamentos desde a graduação e pela confiança e orientação ao longo do curso de doutorado.

Ao Prof. Dr. Fábio Poggiani, ao Prof. Dr. José Leonardo M. Gonçalves e ao Prof. Dr. Mário Tomazello Filho pela confiança e incentivo ao meu aperfeiçoamento profissional, durante as suas gestões como Chefes do Departamento de Ciências Florestais entre 2008 e 2012.

Ao engenheiro florestal Welinton Rodrigues (Estrelinha) pelo companheirismo, pelo profissionalismo e pela sua dedicação que foram fatores fundamentais para o sucesso do trabalho de campo.

A toda equipe da Estação Experimental do LCF, em especial aos funcionários Antonio Leite de Moraes, Antonio Carlos Pedrozo, Estevão Araújo, Lourival Fermiano e Rildo Moreira e Moreira pelo apoio e suporte operacional.

Ao Prof. Dr. Silvio F. de Barros Ferraz e ao Técnico Jefferson L. Polizel, ambos do LCF/ESALQ, pelas orientações e apoio técnico nos trabalhos com Sistema de Informação Geográfica (SIG).

À profa. Dra. Sônia Maria de Stefano Piedade e à Dra. Renata Alcarde, ambas do LCE/ESALQ, pelas orientações nas análises estatísticas.

Ao engenheiro agrônomo Fernando Piotto pelo ensinamento e suporte para a realização das análises estatísticas com o uso do software estatístico R.

Ás secretárias Elaine Cristina da Silva Cassonato (Estação Experimental de Itatinga/LCF), Margarete Ap. Zandoná Pinese (LCF) e Giovana M. de Oliveira (PG Recursos Florestais) por toda contribuição e apoio ao longo desse estudo.

Ao Sr. João Orlandini, ao Sr. Gilson Claro e à Serraria São Caetano que promoveram a colheita florestal, compreendendo e respeitando os aspectos operacionais intrínsecos desse estudo.

Ao Sr. Ludogero Mendes Lourenço (Tio Du), ex-funcionário da Cia Paulista de Estradas de Ferro, que contribuiu significativamente com o trabalho de campo do inventário florestal de espécies nativas.

SUMÁRIO

RESUMO 9
ABSTRACT 11
LISTA DE FIGURAS 13
LISTA DE TABELAS 15
1 INTRODUÇÃO 17
1.1 Objetivos 18
1.2 Hipótese 18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 19
2.1 Valorização das florestas abandonadas de *Eucalyptus* 19
2.2 Colheita florestal 26
2.2.1 Efeito da colheita nos atributos físicos do solo 29
2.2.2 Efeito da colheita na vegetação 35
3 MATERIAL E METODOS 39
3.1 Descrição da área de estudo 39
3.1.1 Localização 39
3.1.2 Caracterização edafoclimática 40
3.1.3 Área experimental 41
3.2 Inventário florestal 42
3.3 Delineamento experimental 47
3.3.1 Tratamentos 49
3.3.2 Variáveis dos atributos físicos do solo 51
3.3.3 Variáveis da estrutura da vegetação 54
3.3.4 Análises estatísticas 55
3.4 Avaliação de custos e receitas 55
3.5 Averiguação da eficiência do delineamento experimental 55
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 61
4.1 Aspectos gerais da colheita florestal 61
4.2 Efeitos da colheita nos atributos físicos do solo 62
4.2.1 Distúrbios superficiais 63
4.2.2 Resistência à penetração 68

4.2.3 Densidade do solo 78
4.3 Efeitos da colheita na estrutura da vegetação do sub-bosque 82
4.4 Custos e receitas da extração de madeira 92
4.5 Aspectos gerais 94
5 CONCLUSÕES 97
REFERÊNCIAS 99

RESUMO

Alternativas de colheita de *Eucalyptus* e seus impactos no solo e na vegetação nativa em processo de regeneração num plantio abandonado

Essa pesquisa avaliou os efeitos de três sistemas de colheita de madeira sobre os atributos físicos do solo e estruturais da vegetação nativa do sub-bosque, num talhão de *Eucalyptus saligna* Smith. abandonado há 40 anos. A área experimental se encontra na Estação Experimental de Ciências Florestais da ESALQ-USP, no município de Itatinga/SP. O delineamento experimental aplicado foi de blocos ao acaso, com nove parcelas e três repetições, devido à constatação no sítio de heterogeneidade espacial da densidade de eucalipto e da vegetação nativa. Foram testados três tratamentos: CCV - colheita convencional com extração mecanizada; CIR1 - colheita de impacto reduzido com extração mecanizada; e CIR2 - colheita de impacto reduzido com associação de extração animal para lenha (DAP ≤ 30 cm) e com extração mecanizada para tora (DAP > 30 cm). As medições de densidade, resistência à penetração e distúrbios na superfície do solo, e danos na vegetação do sub-bosque, foram realizadas em duas etapas, após a extração de lenha e após a extração de tora. As variáveis para o estudo dos efeitos no solo foram: quatro classes de distúrbios superficiais ($m^2.ha^{-1}$): sem dano, leve, moderado e severo; resistência à penetração (MPa); e densidade aparente ($g.cm^{-3}$). Os resultados evidenciaram a ocorrência de valores acima do nível crítico teórico para resistência à penetração e densidade, 2,5 MPa e aumento relativo de 15%, respectivamente, nas classes de distúrbios moderado e severo e com o uso de extração mecanizada. No final da colheita, os tratamentos CIR1 e CIR2 apresentaram menor área com essas classes de distúrbios, com 1.151 $m^2.ha^{-1}$ e 1.094 $m^2.ha^{-1}$, respectivamente, diferenciando-os estatisticamente em relação ao CCV com 2.620 $m^2.ha^{-1}$. As variáveis para o estudo dos efeitos na estrutura da vegetação foram: três classes de danos em árvores: intactas, danificadas e mortas; e área basal remanescente ($m^2.ha^{-1}$). No final da colheita, os tratamentos CIR1 e CIR2 apresentaram valores relativos menores de árvores mortas, 33% e 38%, respectivamente, diferenciando-os estatisticamente em relação ao CCV que apresentou uma taxa de 49%. Os tratamentos CIR1 e CIR2 apresentaram maiores valores de área basal remanescente, 5,50 $m^2.ha^{-1}$ e 5,40 $m^2.ha^{-1}$, respectivamente, diferenciando-os estatisticamente do CCV que apresentou área basal de 4,32 $m^2.ha^{-1}$. No geral, concluiu-se que a ocorrência de efeitos significativos nos atributos físicos do solo e na estrutura da vegetação é um fato inevitável na extração de madeira. Entretanto, comprovou-se, com os tratamentos CIR1 e CIR2, que é possível minimizar os distúrbios moderado e severo no solo, reduzir a morte de árvores e promover maior área basal remanescente de espécies nativas. Assim, os sistemas de colheita de impacto reduzido se mostraram como melhores alternativas para a extração de madeira em talhões abandonados de eucalipto, como parte do manejo florestal para revertê-los em reserva legal.

Palavras-chave: Colheita de baixo impacto; Restauração; Uso da reserva legal; Extração de eucalipto

ABSTRACT

ALTERNATIVES OF *EUCALYPTUS* HARVESTING SYSTEMS AND THEIR IMPACTS ON SOIL AND NATIVE VEGETATION OF ABANDONED STANDS

This study assessed the effects of three *Eucalyptus* harvesting systems on physical attributes of the soil and structure of the native vegetation of understory, in a stand of *Eucalyptus saligna* Smith. abandoned for 40 years. The study area is situated in the Experimental Station of Forest Resources Science of ESALQ-USP (University of São Paulo – Brazil) in the municipality of Itatinga – São Paulo state – Brazil. The experiment was a randomized block design, with nine parcels and three repetitions, due to the spatial heterogeneity of eucalypt density and native vegetation. Three treatments were analyzed: CCV – conventional harvesting with mechanized extraction; CIR1 – reduced impact with mechanized harvesting; and CIR2 – reduced impact harvesting for firewood associated with animal extraction (DBH ≤ 30 cm) and with mechanized extraction for logs (DBH > 30 cm). The analyses bulk density, penetration resistance, soil disturbance and vegetation damages were performed in two phases: after extraction for firewood and for logs. The variables for the study on soil effects were: four classes of surface disturbances ($m^2.ha^{-1}$): “no-disturbances”, “light”, “moderate” and “severe disturbances”; penetration resistance (MPa) and bulk density ($g.cm^{-3}$). The results showed the occurrence of critical theoretical values for penetration resistance (2.5 MPa) and relative increase over 15% for bulk density, on the classes of moderate and severe disturbances with the use of mechanized extraction. At the end of the harvesting, the treatments CIR1 and CIR2 showed smaller area of these classes of disturbances, with 1,151 $m^2.ha^{-1}$ and 1,094 $m^2.ha^{-1}$, respectively, statistically different in relation to CCV, with 2,620 $m^2.ha^{-1}$. The variables for studies on effects of vegetation structure were: three classes of tree damages: intact, damaged and dead; and remaining basal area ($m^2.ha^{-1}$). At the end of the harvesting, the treatments CIR1 and CIR2 showed relatively lower rates of dead trees, 33% and 38%, respectively, statistically differing in relation to CCV, which showed a rate of 49%. The treatments CIR1 and CIR2 showed higher values for basal area, 5.50 $m^2.ha^{-1}$ and 5.40 $m^2.ha^{-1}$, respectively, statistically differing from CCV that showed basal area of 4.32 $m^2.ha^{-1}$. Final conclusions were, that the occurrence of significant effects of physical attributes of soil and vegetation structure is an inevitable fact in wood extraction. However, treatments CIR1 and CIR2 allowed to conclude that it is possible to minimize moderate and severe disturbances in the soil, reduce tree deaths and promote larger remaining basal area of native species. Therefore, the harvesting systems of reduced impact are the best alternatives for wood extraction in abandoned eucalypt stands, as a managing process of forests to turn them into areas of legal reserve.

Keywords: Reduced impact logging; Restoration; Use of legal reserves; Eucalyptus harvesting

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Estação Experimental e da área experimental 39

Figura 2 – Tipos de solos da Estação Experimental destacando o local da área de estudo (Fonte: adaptado de Gonçalves et al., 2012) 40

Figura 3 – Distribuição espacial dos usos do solo na EECFI, identificando a área experimental do estudo em vermelho 41

Figura 4 – Aspectos da vegetação no interior do talhão: (A) região com alta densidade de eucalipto; (B) região com média densidade de eucalipto; (C) região com baixa densidade de eucalipto 42

Figura 5 – Aspectos operacionais da abertura e mapeamento das picadas: (A) orientação do rumo com bússola de agrimensor; (B) GPS geodésico utilizado no georreferenciamento; e (C) pontos georreferenciados em cada picada 43

Figura 6 – Aspectos operacionais do inventário: (A) medição de altura com Vertex; (B) mensuração do CAP, com detalhe do sensor do Vertex ao centro; (C) plaqueta metálica utilizada na identificação dos indivíduos; e (C) medição de altura e coleta de material botânico com o uso de vara graduada 44

Figura 7 – Esquema do sistema utilizado na anotação das coordenadas x e y dos indivíduos arbóreos 45

Figura 8 – (A) Distribuição espacial das classes de volume da população de eucalipto, destacando a área onde foi realizada a colheita (experimental); (B) distribuição espacial dos indivíduos da população de espécies nativas, ao longo das faixas de inventário 46

Figura 9 – Distribuição espacial dos blocos e das parcelas em cada tratamento 48

Figura 10 – (A) demarcação do eixo principal do ramal com estacas sinalizadas; (B) aspecto geral após a abertura do ramal no início da etapa 1 (colheita de lenha) do CIR1 49

Figura 11 – Colheita florestal do estudo: (A) corte com motosserra; (B) extração mecanizada na etapa 1 (colheita de lenha); (C) extração com animal na etapa 1 (colheita de lenha); (D) extração mecanizada na etapa 2 (colheita de tora) 51

Figura 12 – Exemplo de distribuição espacial dos distúrbios superficiais após a colheita de lenha (etapa 1) no CIR1: (A) região sem distúrbio; (B) região com distúrbios moderado e severo; (C) região com distúrbio leve 52

Figura 13 – Aspectos gerais do sistema de malha utilizado na avaliação dos distúrbios superficiais 52

Figura 14 – Detalhes operacionais: (A) medição de resistência à penetração com penetrômetro de impacto; (B) coleta de solo com anéis metálicos para medir a densidade 54

Figura 15 – Exemplos de danos estruturais: (A) árvore intacta; (B) árvore danificada: (C) árvore morta 54

Figura 16 – Representação dos valores relativos das classes de distúrbios no solo de cada tratamento, em cada etapa de colheita de madeira 64

Figura 17 – Distribuição espacial dos distúrbios superficiais no solo, promovidos pela colheita florestal na etapa 1 (colheita de lenha) 66

Figura 18 – Distribuição espacial dos distúrbios superficiais no solo, promovidos pela colheita de madeira na etapa 2 (colheita de tora) 67

Figura 19 – Índice de cone para o tratamento com colheita convencional (CCV) ... 73

Figura 20 – Índice de cone para o tratamento com colheita de impacto reduzido (CIR1) 74

Figura 21 – Índice de cone para o tratamento com colheita de impacto reduzido (CIR2) 75

Figura 22 – (A) carreador antigo apresentando regeneração natural; (B) carreador atual que foi utilizado na extração de madeira 77

Figura 23 – Índice de cone para a área sem distúrbio (testemunha) e para o carreador abandonado com regeneração e para o carreador atual de extração de madeira 77

Figura 24 – Percentual de cada classe de danos estruturais em árvores de cada tratamento, nas duas etapas 85

Figura 25 – Percentual de cada classe de danos estruturais em árvores de cada tratamento, ocorridos com a extração de 100% do eucalipto 87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – recursos operacionais utilizados para a colheita florestal em cada sistema de colheita, de cada tratamento 50

Tabela 2 – parâmetros sobre a área de colheita como um todo e da área amostral, comparando-as em termos de área basal e de volume médio, tanto da população de *eucalyptus saligna* quanto de espécies nativas 56

Tabela 3 – valores médios de parâmetros estruturais do povoamento de *eucalyptus saligna* e da vegetação nativa do sub-bosque, antes da colheita florestal 56

Tabela 4 – valores aferidos em cada bloco de densidade e de área basal da vegetação nativa do sub-bosque e de área basal e de volume da população de *eucalyptus saligna* 57

Tabela 5 – análise de correlação de *pearson* (r) entre os parâmetros estruturais da população de *eucalyptus* e da população de espécies nativas, antes do início da colheita 58

Tabela 6 – valores de parâmetros físicos do solo da área experimental 59

Tabela 7 – valores médios de densidade aparente do solo, aferidos nas áreas testemunhas dos tratamentos 60

Tabela 8 – valores absoluto e relativo de madeira extraída nas duas etapas e nos três tratamentos 62

Tabela 9 – área média de distúrbio na superfície do solo por tratamento, medida após as colheitas de madeira nas etapas 1 e 2 63

Tabela 10 – valores médios de resistência à penetração (mpa) medidos nas diferentes classes de distúrbios superficiais no solo 69

Tabela 11 – valores médios de resistência à penetração (mpa) medidos nas diferentes classes de distúrbios superficiais do solo, após etapa 1 70

Tabela 12 – valores médios de resistência à penetração (mpa) medidos nas diferentes classes de distúrbios superficiais no solo, após etapa 2 72

Tabela 13 – valores médio e de aumento relativo de densidade nas diferentes classes de distúrbio superficial, após a etapa 1 80

Tabela 14 – valores médio e de aumento relativo de densidade nas diferentes classes de distúrbio superficial, após a etapa 2 81

Tabela 15 – valores absolutos e médias relativas do número de indivíduos de cada classe de dano estrutural ocorrida na vegetação, após cada etapa de colheita 83

Tabela 17 – valores absolutos e de médias relativas de cada classe de dano estrutural ocorrido na vegetação do sub-bosque, comparando-se a situação original com a situação após a extração total de eucalipto 86

Tabela 18 – valores médios absolutos e relativos de área basal da vegetação nativa, no início da pesquisa e após as etapas 1 e 2 87

Tabela 19 – valores médios de volume extraído de madeira em cada tratamento e em cada etapa da extração de eucalipto e número de árvores vivas remanescentes 88

Tabela 20 – análise de correlação de *pearson* (r) entre o volume médio de madeira extraído nas diferentes etapas e o valor residual de área basal e da taxa de sobrevivência de árvores 89

Tabela 21 – análise de correlação de *pearson* (r) entre o valor de área com distúrbios na superfície do solo e a taxa de área basal e de sobrevivência de árvores nativas 91

Tabela 22 – valores da produção de lenha e de tora 93

Tabela 23 – valor absoluto e relativo da área de cada classe de distúrbio na superfície do solo por tratamento, obtido após a colheita total de madeira 94

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da evolução da silvicultura brasileira, no início do século XX, até a década de 1980, foram plantadas extensas áreas de *Eucalyptus* sem o devido planejamento de uso do solo.

Isso acarretou na ocupação de áreas que se tornaram de restrição ambiental a partir da promulgação da Lei 7.511, em 1986, que ampliou a largura das Áreas de Preservação Permanente e, também, a partir da Lei 7.803, em 1989, que obrigou a averbação da Reserva Legal na matrícula do imóvel rural. O maior rigor na legislação impôs restrições de uso do solo na propriedade rural e ocasionou no abandono de parte das áreas ocupadas com florestas plantadas.

Ao longo dos anos, a presença do eucalipto não tem sido impedimento para o estabelecimento e o desenvolvimento de regeneração natural no sub-bosque dos plantios abandonados, principalmente em áreas próximas às fontes de sementes, conforme já constatado por alguns pesquisadores (CARNEIRO, 2002; DURIGAN et al., 2004; NERI, 2005; ONOFRE; ENGEL; CASSOLA, 2010).

Embora tenha sido constatado que o abandono das áreas favorece a dinâmica da vegetação natural do sub-bosque, alguns autores recomendam o manejo do povoamento de *Eucalyptus*. O objetivo principal do manejo é diminuir a competição da espécie exótica com as espécies nativas do sub-bosque, subtraindo-se indivíduos de eucalipto (CARNEIRO, 2002; SAPORETTI JR.; MEIRA NETO; ALMADO, 2003; TUBINI, 2006; ONOFRE, 2009; GONÇALVES et al., 2010).

Segundo disposições no inciso III do Artigo 3º. da Lei 12.651/2012, de 25 de maio de 2012, a reserva legal na propriedade, além de suas funções ambientais, tem como objetivo assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural. Entre as diretrizes e recomendações para o manejo florestal sustentável da reserva legal, previstas no inciso III do Artigo 22 da referida Lei, recomenda-se o manejo de espécies exóticas com adoção de medidas que favoreçam a regeneração de espécies nativas.

Considerando o amparo legal para se utilizar a reserva legal de forma sustentável e, ainda, as recomendações científicas de reduzir a densidade do povoamento de *Eucalyptus* em prol da regeneração do sub-bosque, infere-se que a colheita dessa espécie seja viável no processo de transformação da antiga unidade de produção florestal em reserva legal. Nesse contexto, é evidente a existência nas

propriedades rurais de antigas unidades de produção florestal que apresentam potencial para gerar benefícios econômicos e ambientais.

Um dos entraves para o aproveitamento econômico do *Eucalyptus* são as alterações ambientais inevitáveis da colheita florestal (MALINOVSKI et al., 2008).

Para minimizar os impactos da colheita nos atributos físicos do solo e na estrutura da vegetação, é fundamental que se faça o planejamento da intervenção física no povoamento e das atividades de extração da madeira. Para isso, o sistema de colheita de impacto reduzido tem se mostrado como uma alternativa viável, uma vez que reduz os impactos ambientais da colheita florestal (FAO, 2004).

Entretanto, embora o sistema de colheita de impacto reduzido já seja utilizado nos planos de manejo florestal sustentável em florestas naturais tropicais, a sua viabilidade como alternativa de colheita de baixo impacto na extração de madeira em plantios abandonados de eucalipto com sub-bosque tem sido pouco testada.

1.1 Objetivos

O objetivo principal desse estudo foi avaliar a viabilidade ambiental da colheita de impacto reduzido em plantio abandonado de *Eucalyptus*, como parte do manejo florestal para revertê-lo em reserva legal.

Objetivos específicos:

- Avaliar os efeitos da colheita nos atributos físicos do solo.
- Avaliar os efeitos da colheita na estrutura da vegetação natural do sub-bosque.

1.2 Hipótese

Os impactos no solo e na vegetação do sub-bosque causados pela colheita do eucalipto em florestas abandonadas podem ser minimizados por meio das técnicas de colheita de impacto reduzido que, por sua vez, torna-se uma alternativa para a extração de madeira na reserva legal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Valorização das florestas abandonadas de *Eucalyptus*

O termo áreas abandonadas, referido nessa pesquisa, diz respeito às antigas unidades de produção florestal de *Eucalyptus* e que, atualmente, se encontram em pousio. Esse termo também foi utilizado por Onofre (2009) em sua pesquisa. Para melhor entendimento da origem até o estado de abandono dessas áreas, a seguir se faz um breve relato histórico da evolução das florestas plantadas no Brasil, onde se encontra parte da explicação.

A cultura de *Eucalyptus* no país teve o seu início no primórdio do século XX, em função da devastação das florestas naturais pelo extrativismo madeireiro e da impossibilidade da reposição do estoque de madeira com base em espécies nativas (FERREIRA; SANTOS, 1997).

Nessa época começa surgir, por parte de alguns setores da sociedade, certa preocupação com as fontes naturais de madeira, o que fez com que o governo e algumas lideranças institucionais incentivassem a busca por espécies de potencial madeireiro (MARTINI, 2004). Em função disso, iniciou-se um período de pesquisas com várias essências nativas e exóticas, entre as quais o eucalipto, que se destacou pelo rápido crescimento e pela versatilidade (MORA; GARCIA, 2000).

Os resultados positivos das pesquisas realizadas com algumas espécies de *Eucalyptus* despertaram a atenção sobre elas e impulsionaram o estabelecimento de grandes áreas. Por exemplo, no Estado de São Paulo, a maior parte desses plantios ocorreu nos hortos florestais criados pela extinta Companhia Paulista de Estradas de Ferro e se constituiu numa ampla rede experimental, principalmente para a formação de banco de germoplasma e para o suprimento de madeira para o setor ferroviário (FERREIRA; SANTOS, 1997).

Até meados do século XX, haviam sido criados 18 hortos florestais no interior do Estado de São Paulo, ultrapassando 15.730 ha de florestas plantadas, num total de 25.789,26 ha (MARTINI, 2004). No início dos anos 60, a área total de plantações de eucaliptos já era estimada em 700.000 ha (FERREIRA; SANTOS, 1997).

Na década de 1960, o setor ferroviário brasileiro começou a declinar e, consequentemente, iniciou-se a desativação de algumas estações ferroviárias e

seus hortos florestais (MARTINI, 2004). Nesse mesmo período, a Companhia Paulista de Estradas de Ferro reduziu suas atividades na área da pesquisa florestal (FERREIRA; SANTOS, 1997), o que acarretou no abandono de parte dos plantios de *Eucalyptus* existentes nos hortos florestais.

Em 1966, devido aos resultados das pesquisas com espécies de rápido crescimento, ao aumento na demanda de madeira, principalmente dos setores de celulose e papel e de energia, e aos índices crescentes de devastação dos recursos naturais, o Governo Federal do Brasil instituiu a Lei dos Incentivos Fiscais Aplicados ao Reflorestamento. Esse programa governamental alavancou o interesse pelo *Eucalyptus* e expandiu os seus plantios para várias regiões do país, em propriedades do setor público e privado. Até 1986, quando terminaram os incentivos por parte do governo, os plantios com esse gênero somavam 3.231.000 ha (FERREIRA, 1983).

Parte desses plantios ocorreu de forma desordenada ocupando áreas com restrição ambiental, como por exemplo, áreas próximas a cursos d'água e nascentes. Leyton (2008) ao analisar a evolução do uso do solo nos municípios de Piedade/SP e Capão Bonito/SP, detectou extensas áreas com eucalipto em 1987, que, em 1962, eram ocupadas por remanescentes florestais.

Para Martini (2004), não foi por falta de leis que foram praticados desmandos contra a natureza, acarretando em desmatamento indiscriminado e predatório no país.

Até 1965, a ocupação territorial pelas florestas plantadas de *Eucalyptus* teve como embasamento legal o Código Florestal de 1934, no qual era previsto a substituição de florestas nativas por monoculturas. Com a promulgação do Novo Código Florestal em 1965, Lei 4.771, houve alguns avanços na questão de ordenação do uso do solo (BACHA, 2005).

Para Zakia (2012), entre 1934 e meados de 1980, a legislação impôs limites no uso do solo na propriedade rural, porém, não proibiu o desmatamento. A partir da promulgação da Lei 7.511 em 1986, ocorreram algumas alterações nos dispositivos do Novo Código Florestal, tornando-o mais rígido do ponto de vista ambiental. Uma das principais alterações foi a ampliação das faixas de Áreas de Preservação Permanente (APP) como, por exemplo, o aumento de 5 m para 30 m nos casos dos rios com menos de 10 m de largura. Esse fato impôs maior restrição de uso do solo nas propriedades rurais, principalmente nas áreas próximas aos

cursos d'água (BACHA, 2005; LEYTON, 2008). Em 1989, através da Lei 7.803, implementou-se outra medida restritiva para o uso do solo, que foi a imposição da averbação da reserva legal (RL) na matrícula do imóvel rural (BACHA, 2005).

Essas mudanças na legislação transformaram a vocação de algumas florestas plantadas, remanescentes da época dos hortos florestais e do período dos incentivos fiscais, de produtivas para conservação ambiental. Esse foi um dos fatos da história da silvicultura que também contribuiu para o abandono de certas unidades produtivas de eucalipto. Essa teoria é corroborada com os dados de levantamento de uso do solo na Bacia do Rio Corumbataí/SP, onde foram identificados 491,84 ha (3,91%) de florestas de *Eucalyptus* abandonadas em APP (VIANA et al., 2002).

A aptidão ambiental dos plantios abandonados de eucaliptos tem sido um dos principais alvos de investigação, principalmente por meio de estudos sobre a dinâmica no sub-bosque (REZENDE et al., 1994; CARNEIRO, 2002; SARTORI; POGGIANI; ENGEL, 2002; SAPORETTI JR.; MEIRA NETO; ALMADO, 2003; DURIGAN et. al., 2004; NERI et al., 2005; TUBINI, 2006; SOUZA FILHO et al., 2007; ONOFRE; ENGEL; CASSOLA, 2010; GONÇALVES et al., 2010; SOUZA ARMANDO et al., 2011).

Os estudos têm comprovado que a presença do eucalipto não se trata de um impedimento para o estabelecimento da regeneração de espécies nativas. Para Lamprech (1990), o surgimento da regeneração natural depende de várias pré-condições, mas, as seguintes são indispensáveis: presença, em quantidade suficiente, de sementes viáveis; e condições edafoclimáticas que atendam as exigências de germinação e crescimento das espécies.

Outro fator essencial para a possibilidade de regeneração é a proximidade com fontes de sementes (ENGEL, 2012). Carneiro (2002) concluiu que se o povoamento de *Eucalyptus* estiver próximo de alguma fonte de propágulos, certamente haverá potencial de surgimento de regeneração, sendo que a sua condução torna-se viável em busca da restauração da vegetação natural.

Numa floresta de *Eucalyptus saligna* em abandono por 15 anos, com densidade arbórea dessa espécie de 738,02 indivíduos.ha^{-1} e área basal média de 22,68 m^2.ha^{-1}, foram encontrados 2.763 indivíduos de espécies nativas, entre jovens (DAP < 5,0 cm) e adultos (DAP ≥ 5,0 cm), pertencentes a 111 espécies, 66 gêneros e 34 famílias. Essa riqueza florística, entre outros fatores, foi atribuída à localização

próxima da área de estudo ao Parque Estadual da Serra do Mar, que se trata de ótima fonte de propágulos vegetativos (ONOFRE; ENGEL; CASSOLA; 2010).

A influência da qualidade de sítio na regeneração também foi confirmada por Sartori, Poggiani e Engel (2002). Num estudo realizado na Estação Experimental de Ciências Florestais em Itatinga/SP, em talhões de *Eucalyptus saligna* com 50 anos de idade, avaliou-se a regeneração nativa do sub-bosque em 2 sítios distintos em termos de solo. Um sítio em solo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média (LVA) e outro num Latossolo-Vermelho distrófico, textura média e argilosa (LV). A diferença nos índices de diversidade de Shannon-Wiener (H') obtidos entre o LVA e o LV, 2,51 e 3,75 respectivamente, levou à conclusão de que, além da influência da fonte de propágulos, as características edáficas do sítio também influenciam na composição e estrutura florística da regeneração de espécies arbóreas nativas.

Tubini (2006), comparando a florística da regeneração natural de um fragmento de Floresta Ombrófila Densa com um talhão de *Eucalyptus saligna* abandonado há 13 anos, encontrou uma similaridade de 32%. Essa similaridade foi atribuída à proximidade entre o talhão de eucalipto e o fragmento de floresta nativa.

A presença da regeneração está diretamente ligada com agentes dispersores de sementes. Neri (2005) constatou que 53% das espécies de cerrados encontradas no sub-bosque de um talhão de *Eucalyptus* tinham dispersão zoocórica. Souza Armando et al. (2011) também constataram predominância de dispersão zoocórica nas espécies sob um povoamento de eucalipto abandonado há 50 anos, concluindo que os plantios abandonados funcionam como abrigo e refúgio para espécies da fauna.

Silveira (2005) concluiu que há relação positiva entre a presença e densidade de sub-bosque em povoamentos de eucaliptos e a mastofauna de médio e grande porte. Num estudo realizado na Estação Experimental de Ciências Florestais em Itatinga/SP, foram encontradas 27 espécies de mamíferos, sendo 8 espécies ameaçadas de extinção. A curva do coletor aplicada a esses registros indicou que ainda havia espécies a serem identificadas. A maioria delas apresenta hábito alimentar generalista, porém, também foi constatada a presença de pelo menos 4 espécies de carnívoros, que são mais exigentes quanto à qualidade de habitat.

Embora tenha sido constatado que o abandono das áreas favorece a dinâmica da vegetação natural do sub-bosque, alguns autores recomendam o manejo do povoamento de *Eucalyptus*. O objetivo principal do manejo é diminuir a competição da espécie exótica com as espécies nativas do sub-bosque, subtraindo-se indivíduos de eucalipto (CARNEIRO, 2002; SAPORETTI JR.; MEIRA NETO; ALMADO, 2003; TUBINI, 2006; ONOFRE, 2009; GONÇALVES et al., 2010).

Devido às comprovações dos benefícios ambientais prestados pelas áreas abandonadas de *Eucalyptus*, existe forte tendência para que essas antigas unidades de produção florestal sejam revertidas em reserva legal.

Essa teoria é corroborada com o trabalho de Molin e Stape (2007), no qual, analisando a aptidão de áreas para reserva legal na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga/SP, num total de 2.120 ha, verificaram que as regiões onde se encontram os talhões de eucaliptos abandonados atendem critérios ambientais, principalmente, pela frequente associação com áreas de preservação permanente e fragmentos florestais.

Segundo disposições no inciso III do Artigo 3º. da Lei 12.651/2012, de 25 de maio de 2012, que revogou as Leis 4.771/65 e 7.754/1989 e a Medida Provisória 2.666-67/2001, a reserva legal na propriedade, além de suas funções ambientais, tem como objetivo assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural.

Entre as diretrizes e recomendações para o manejo florestal sustentável da reserva legal, previstas no inciso III do Artigo 22 da Lei 12.651/2012, recomenda-se o manejo de espécies exóticas com adoção de medidas que favoreçam a regeneração de espécies nativas. Considerando o amparo legal para utilizar a reserva legal de forma sustentável e, ainda, as recomendações científicas de reduzir a densidade do povoamento de *Eucalyptus* em prol da regeneração do sub-bosque, infere-se que a colheita dessa espécie seja viável no processo de transformação da antiga unidade de produção florestal em reserva legal.

Num povoamento de *Eucalyptus saligna* com, aproximadamente, 50 anos, o censo das árvores superiores ou tora, com diâmetro acima de 30 cm, obteve um volume médio de 275,6 $m^3.ha^{-1}$, de madeira para fins de serraria (DAL PONTE FILHO, 2006). Tomando-se como base, o valor médio de R$ 100,00 o st da tora em pé de eucalipto na região de Sorocaba/SP (CEPEA, 2011) e utilizando-se um fator de conversão igual a 0,70 (SBS, 2008), obtém-se um valor médio de R$ 142,86.m^{-3}.

Cruzando as informações de CEPEA (2011) com a de Dal Ponte Filho (2006), infere-se uma receita bruta de R$ 39.372,22.ha^{-1}, com a colheita de 100% de tora, o que retrata o potencial econômico do talhão abandonado de eucalipto.

Há tempos, o mercado interno de madeira *in natura* no Brasil tem se mostrado muito promissor. De acordo com a FAO (2011), o consumo de madeira aumentou 14% nos últimos anos, considerando as demandas de todos os segmentos do setor florestal. Atualmente, estima-se que o consumo anual seja em torno de 285 milhões de m^3.

Entre os anos de 2000 e 2011, houve um crescimento no consumo de nacional de serrados, a uma taxa de 2,3% a.a., alcançando 28% no total. Considerando que, no mesmo período, houve redução de 39,4% na exportação de serrados, conclui-se que o mercado interno, particularmente o da construção civil, está sustentando o aumento da produção de madeira serrada (ABRAF, 2012).

Somente em 2011, houve um aumento no consumo de madeira em tora de eucalipto, em relação a 2010, de 4,1%, o que correspondem a 4,6 milhões de m^3 (ABRAF, 2012).

Esses valores de mercado interno de madeira corroboram com a teoria de que há um grande benefício econômico, por parte das áreas abandonadas de *Eucalyptus*, que pode ser aproveitado pelos produtores rurais.

Brancalion e Rodrigues (2010) realizaram um diagnóstico sobre a adequação ambiental de usinas sucroalcooleiras do Estado de São Paulo, onde foram analisados dados de 1961 propriedades, totalizando uma área de 533.097 ha. Como resultado, identificou-se 2,3% desse território com áreas abandonadas. Esse percentual representa 12.261 ha com aptidão para reserva legal, fora de APP. Esses valores demonstram o potencial que existe nas propriedades rurais para o melhor uso da terra, aproveitando-se as áreas abandonadas.

Pensando na conversão de antigas unidades de produção de madeira em reserva legal, surgem dúvidas de como aproveitar o seu potencial econômico com o mínimo de prejuízo ambiental. Estudos nesse sentido ainda são incipientes. Por isso, não há consenso sobre as melhores práticas silviculturais, como por exemplo, sobre o método e a intensidade de exclusão das árvores.

Carneiro (2002) concluiu que o fator importante na escolha da ação a ser realizada no povoamento de eucalipto, a fim de minimizar os danos aos indivíduos da regeneração, é um planejamento adequado das operações de colheita florestal.

Onofre (2009) concluiu que por meio da redução de 50% da área basal de eucalipto, causando a morte das árvores em pé, consegue-se obter melhores resultados do ponto de vista ambiental, ou seja, gera-se menos impacto na regeneração natural, comparando-se com o corte de 100% do eucalipto. Porém, com essa prática, não se alcança o benefício econômico da reserva madeireira.

Molin e Stape (2009) concluíram que a seleção de áreas para reserva legal do ponto de vista ambiental, tende a ser muito diferente do interesse do produtor rural com sua visão econômica.

Rodrigues, Brancalion e Isernhagen (2009), visando à restauração da vegetação natural da Mata Atlântica, recomendaram a retirada da espécie exótica de florestas abandonadas com regeneração natural, adotando-se técnicas de colheita de impacto reduzido, como por exemplo, corte com motosserra e direcionamento de queda das árvores, a fim de se promover o aproveitamento da madeira em conciliação com a restauração ambiental.

O termo colheita de impacto reduzido (CIR) se refere às técnicas empregadas na exploração de impacto reduzido (EIR), que já é um termo de consolidação global, e vem sendo utilizado para diferenciar um método de colheita manejada de madeira em relação ao método convencional nas florestas tropicais.

Segundo Machado, Silva e Pereira (2008), o termo exploração é o mesmo de colheita, porém, encontra-se em desuso no setor florestal devido a sua conotação com atitude irracional.

Sabogal et al. (2000) definiram a exploração convencional (CV) como colheita levada a efeito sem planejamento adequado e sem os cuidados necessários para reduzir os impactos à floresta remanescente e ao solo. Já a colheita de impacto reduzido é definida como aplicação de técnicas de planejamento de derruba e extração, visando reduzir o impacto da exploração, principalmente à floresta remanescente e ao solo.

Segundo FAO (2004), para se promover uma colheita de impacto reduzido é fundamental respeitar algumas diretrizes para minimizar o impacto da colheita sobre a vegetação remanescente, como por exemplo: prever um ciclo de colheita não inferior a 20 anos; não extrair mais do que 33% da área basal ($m^2.ha^{-1}$); realizar o planejamento de estradas e ramais de colheita, abrindo o mínimo possível de trilhas de extração; não realizar a colheita em condição de saturação hídrica de solo; entre outras.

De acordo com Sabogal et al. (2000), a CIR minimiza os danos ambientais, conservando os recursos naturais e os serviços da floresta; reduz os custos operacionais, aumentando a eficácia do trabalho, e reduz desperdícios.

Embora a CIR já tenha sido comprovada como o melhor método para ser utilizado nas florestas tropicais (BARRETO et al, 1998; BARROS; UHL, 1995; HOLMES et al., 2002; JOHNS; BARRETO; UHL, 1998; MINETTI et al., 2000; VALLE et al., 2007), ainda falta investigações sobre a sua eficácia no manejo sustentável das florestas abandonadas de eucalipto.

2.2 Colheita florestal

Para Seixas (2007), muitas vezes a preocupação na etapa da colheita se volta para a definição da mecanização, em primeiro lugar. Porém, o administrador florestal, antes de tudo, deve levar em consideração que ele estará trabalhando com um sistema biológico vivo e que o objetivo principal é a sustentabilidade florestal, com uso mais eficiente dos recursos produtivos.

Segundo Machado, Silva e Pereira (2008), a colheita florestal pode ser definida como um conjunto de atividades realizadas na floresta, que visa preparar e levar a madeira até o local do transporte, utilizando técnicas e padrões estabelecidos para transformá-la em produto final. Ela é composta pelas fases operacionais de corte, extração e carregamento. O corte se refere a todo o processamento da árvore para tornar possível a sua retirada da área, incluindo as seguintes atividades: abate, desgalhamento, destopamento e toragem da madeira. A extração é a retirada da madeira do interior do talhão até a estrada. E, por fim, o carregamento é o ato de colocar a madeira em determinado compartimento de um meio de transporte.

Para Malinovski et al. (2008), a colheita florestal, inevitavelmente, gera alterações ambientais, tanto pela extração rudimentar e predatória, como, na produção manejada e sustentada de florestas naturais.

Por isso, trata-se da etapa mais crítica no manejo florestal, na qual, se houver um planejamento adequado e uma implementação cautelosa das atividades, os resultados serão satisfatórios. Por outro lado, a falta de planejamento e cuidado operacional, acarretará em custos mais elevados, aumento de danos ambientais e maiores riscos de acidentes (SESSIONS; HEINRICH, 1993).

Ao conjunto de elementos e processos da cadeia produtiva da colheita de madeira, atribui-se o nome de sistema de colheita. No sistema há uma combinação de atividades manuais e mecânicas, que são influenciadas por fatores como: topografia do terreno, volume do povoamento, uso final da madeira, tipo da floresta, disponibilidade de máquinas, tipo de solo, clima e aspectos econômicos (MACHADO; SILVA; PEREIRA, 2008; MALINOVSKI et al., 2008).

De acordo com Leite e Lima (2008), a finalidade da madeira é o primeiro passo para se estabelecer o sistema de colheita. A partir da aplicação da madeira, se defini a forma a ser colhida que, por sua vez, determina o sistema de colheita a ser utilizado. Existem cinco sistemas no que se refere à forma da matéria-prima: sistema de tora curta, sistema de fuste ou toras longas, sistema de árvores inteiras, sistema de árvores completas e sistema de cavaqueamento (MALINOVSKI et al., 2008).

No Brasil, segundo Seixas (2002), há o predomínio dos sistemas de toras curtas e de toras longas. No sistema de toras curtas, as árvores são desgalhadas, destopadas e seccionadas em toras com menos de 6 m de comprimento, ainda no interior do talhão, para depois serem extraídas até a margem do carreador ou pátio. No sistema de toras longas, no interior do talhão é feito apenas o desgalhamento e o destopamento, para depois o tronco ser extraído até a margem do carreador ou pátio (MACHADO; SILVA; PEREIRA, 2008).

Dentre as atividades da colheita de madeira, a extração é a de maior complexidade, devido à dificuldade e ao custo elevado para retirar a madeira do talhão (TANAKA, 1987). Segundo Seixas (2008), a operação de extração da madeira do interior do talhão até onde ela será transferida para veículos que farão o transporte final, é conceituada como transporte primário.

Para Tanaka (1987), a extração pode ser feita pelo método manual, animal ou mecanizada. A definição do método é, diretamente, influenciada por características edáficas da região onde se encontra o talhão, pelo sistema de colheita pretendido e pela disponibilidade de recursos humanos, de equipamentos, de animais, entre outros.

A intensificação da mecanização das operações de colheita de madeira ocorreu, notadamente, no início da década de 1990 (SEIXAS, 2002). Desde então, a mecanização está cada vez mais consolidada na cadeia produtiva florestal, onde a tendência é de predomínio de sistemas altamente mecanizados (FENNER, 2008).

Nas grandes empresas, são utilizados tratores florestais como *Forwarders* e *Skidders* para extração da madeira. Entretanto, em razão do elevado custo de aquisição, esses equipamentos possuem limitações quanto ao uso por empreiteiros ou em pequenas propriedades (SEIXAS, 2008). Para uso em pequenas propriedades, existe no mercado uma versão menor de *Skidder*, que é conhecido como *mini-Skidder*. Trata-se de um equipamento com garra hidráulica, viável para arraste de toras numa distância de até 500 m, que é instalado em tratores com potência a partir de 120CV e com tração 4x4 (TMO, 2012).

Apesar do predomínio da mecanização, ainda hoje, é possível encontrar no Brasil, exemplos pontuais de extração manual, como no caso de colheita de Caixeta no litoral sul do Estado de São Paulo (SEIXAS; MARQUESINI, 2001).

A tração animal para extração de tora também continua sendo utilizada em algumas regiões brasileiras, principalmente em locais acidentados, onde não há condições de se mecanizar a operação (SEIXAS, 2008). Pereira (2000) citou como grandes vantagens desse método, a redução de impactos no solo e o favorecimento para a regeneração natural na área, devido à abertura de trilhas mais estreitas para a extração da madeira. Mcnamara e Kaufman (1985) recomendaram o uso de tração animal em pequenas propriedades, principalmente quando o interesse principal não for o econômico, mas sim a preocupação ambiental, em função da redução de danos.

Tanaka (1987) apresentou como limitações técnicas para o uso de tração animal, a topografia, o tamanho das toras e a distância da extração. Quanto à topografia, apresentou um limite de 45% no sentido favorável ao terreno e, no máximo, 15% em topografia adversa. Em relação ao tamanho de tora, recomendou peças curtas e de pequenos diâmetros, principalmente porque há limite de carga em relação ao peso do animal. No caso de equinos, quando transportado no dorso, o limite sugerido foi de 55% do peso vivo. Para quando a carga for tracionada, apresentou uma capacidade de 10% a 15% do peso do animal. Quanto à distância, recomendou não ultrapassar uma média de 150 m.

Os efeitos de maior destaque da colheita florestal podem ocorrer tanto a nível ambiental como social, com os seguintes destaques: i) *ambiental* – exportação de nutrientes, compactação do solo, alterações na quantidade e qualidade de água produzida na microbacia, susceptibilidade ao fogo e impactos sobre a vida silvestre; *social* – alterações estéticas na natureza (SEIXAS, 2002).

No âmbito social, FENNER (2007) destacou, ainda, que o processo de terceirização tende a se consolidar e que, num futuro próximo, parte da madeira deverá ser produzida por pequenos e médios produtores. Por isso, há um desafio de desenvolver tecnologia para esse público, bem como para o uso em florestas com múltiplas espécies e nas quais não será permitido o corte raso. A aceitação da tecnologia dependerá, em grande parte, da capacidade de realizar o trabalho causando mínimos impactos no solo e na floresta.

2.2.1 Efeito da colheita nos atributos físicos do solo

De acordo com Fenner (2008), os efeitos nos atributos físicos do solo se devem a uma complexa interação de fatores internos e externos de deformação física, como: (i) *internos* – teor de água, granulometria, estrutura, tipos de agregado, densidade, teor de matéria orgânica e teor de argila; (ii) *externos* – peso da máquina, pressão dos pneus, área de contato, tipo de rodado, forma da carga e intensidade de tráfego. Compreender e reconhecer as relações entre o tráfego de máquinas, os danos provocados ao solo e à vegetação remanescente e os efeitos sobre o desenvolvimento das plantas no futuro, são premissas para minimizar as alterações das características do solo e, consequentemente, alcançar os objetivos do manejo florestal sustentável.

Vários tipos de deformações físicas podem ocorrer no solo. Algumas estão diretamente correlacionadas e são confundidas com a compactação, outras não têm nenhuma correlação com ela (FENNER, 2008).

Entende-se por compactação como sendo um novo arranjo e aproximação das partículas sólidas do solo e, consequentemente, aumento da sua densidade devido à redução da porosidade (SEIXAS, 2002).

A deformação física depende da pressão exógena do tráfego que induz o solo a uma resistência. Enquanto a resistência exercida pelo solo for maior ou igual à pressão, não ocorrerá deformação. A partir do momento que a intensidade da pressão exercida pelo tráfego for superior a capacidade de suporte de carga, ocorrerá deformação física no solo, com ou sem compactação significativa para o desenvolvimento da planta (FENNER, 2008).

Segundo Ferreira e Dias Junior (1996), existem alguns sintomas de compactação que podem ser observados diretamente no solo, como: presença de crostas, aparecimento de trincas nos sulcos de rodagem do trator, zonas endurecidas, empoçamento de água e erosão hídrica excessiva.

Entretanto, outras deformações físicas no solo que não são aparentes, devem ser avaliadas por parâmetros que indicam, de forma indireta, as condições do solo para o desenvolvimento das plantas (HILDEBRAND, 1994 apud FENNER, 2008).

Entre esses parâmetros, a densidade é comumente utilizada como medida de compactação, com o limite superior sendo determinado principalmente pela forma e distribuição de suas partículas (SEIXAS, 2002).

Segundo Geist et al. (1989 apud SEIXAS; OLIVEIRA JUNIOR, 2001), aumento entre 15% a 20% no valor inicial da densidade do solo é um nível crítico de compactação, sendo considerado prejudicial para o crescimento das plantas.

Outros autores consideram o valor crítico de densidade em função da textura do solo. A razão disso é que cada textura apresenta, naturalmente, uma determinada faixa de densidade. Segundo Gonçalves (2002), solos arenosos com textura grossa são mais pesados do que os argilosos que possuem textura fina.

Reinert e Reichert (2001 apud LOSS, 2009), propuseram para solos com textura arenosa e menos de 20% de argila, um valor crítico de densidade (Ds) igual a 1,65 $g.cm^{-3}$. Outros valores de referência foram encontrados, como: 1,55 $g.cm^{-3}$ para solos de textura média, com 20% a 50% de argila (REICHERT et al., 2003 apud ALVES et al., 2007); 1,40 $g.cm^{-3}$ para solos argilosos com mais de 55% de argila, 1,50 $g.cm^{-3}$ para franco-argilosos e 1,70 $g.cm^{-3}$ para franco-arenosos (REICHERT et al., 2003 apud REINERT et al., 2008).

Aumentos na densidade do solo, até os valores críticos mencionados, alteram as características da estrutura do solo e prejudicam o desenvolvimento das plantas, devido à: maior compactação que restringe o crescimento radicular; redução da aeração que, por sua vez, diminui as atividades das raízes, dos microrganismos aeróbicos; a redução da infiltração de água (FISHER; BINKLEY, 2000).

Além da densidade, a porosidade e a resistência à penetração também são parâmetros utilizados para determinar a compactação. A resistência à penetração é mais facilmente obtida no campo por meio de penetrômetros e, por isso, a sua aplicação é mais comum (SEIXAS, 2002).

Em relação à porosidade, uma taxa de 10% de macroporos é considerada como valor crítico para o desenvolvimento radicular das plantas (SEIXAS, 2002). Camargo e Alleoni (1997) consideraram que um solo em boas condições para desenvolvimento de plantas deve apresentar 50% de volume de poros totais, na capacidade de campo, sendo 33,5% ocupado por água e 16,5% ocupado por ar.

Quanto ao limite crítico de resistência à penetração, que pode prejudicar o desenvolvimento radicular das plantas, Sands et al. (1979 apud SEIXAS; SOUZA, 2007) apresentaram uma faixa entre 2,5 e 3,0 MPa.

Muitos estudos têm demonstrado que as alterações nos atributos físicos do solo, principalmente em relação à compactação, ocorrem no início da movimentação das máquinas de colheita.

Seixas e Souza (2007) estudaram os efeitos da frequência de tráfego, com uma variação de 1 a 20 passadas da máquina, de um módulo composto por trator agrícola com carreta acoplada com carga igual a 8000 kg de madeira. A conclusão que chegaram foi que 80% do adensamento do solo, no tratamento com 20 passadas, resultaram das 5 primeiras passadas.

Silva et al. (2007), pesquisando os efeitos do tráfego de *Forwarder*, concluíram que a maior parte dos efeitos negativos no solo havia ocorrido com apenas 4 passadas da máquina. Na camada de 10 cm a 20 cm de profundidade no solo, essa intensidade de tráfego resultou num acréscimo de 15,3% na densidade e atingiu um valor de 5,6 MPa de resistência à penetração.

Contraditoriamente, Seixas, Koury e Rodrigues (2003) não observaram compactação significativa no solo nas primeiras passadas de um *Forwarder*, com massa total de 42 t, o que é maior do que os convencionais. A explicação para esse resultado foi atribuído às condições do solo no momento da pesquisa, baixa umidade (12%) associada à textura arenosa, que promoveram maior capacidade de suporte nas primeiras passadas. Após 20 passadas, essa capacidade de suporte foi suplantada. No início daquele estudo, o valor de resistência à penetração já era de 3,0 MPa, ou seja, já se encontrava próximo ao nível crítico. Nesse contexto, os autores concluíram que o tráfego do *Forwarder* resultou em condições de solo adversas para o desenvolvimento das plantas.

A influência da umidade do solo nas alterações dos seus atributos físicos, no momento da colheita, foi comprovada por Seixas e Oliveira Junior (2001). Analisando os efeitos de um módulo composto de *Harvester* e *Forwarder*, em solos

argilosos e em relevo acidentado, constataram uma variação na densidade entre 3,7% e 17,4% na condição seca (10%). Já, numa condição de 28% de umidade, constataram uma variação entre 12,3% e 41,7%. A conclusão foi de que a maior umidade contribuiu para a reestruturação das partículas do solo que, consequentemente, acarretou em maior compactação.

Em solos argilosos, a pegajosidade, a plasticidade e a capacidade de retenção de água são maiores do que em solos arenosos. Já, a permeabilidade é menor. Quanto maior o teor de argila no solo, principalmente, de argilas silicatadas, maior será a força de coesão entre as partículas e consequentemente, maiores e mais duradouros serão os efeitos da compactação. Em solos arenosos, de textura média, os efeitos serão contrários (GONÇALVES, 2002).

Naghdi et al. (2009) estudaram os efeitos do tráfego da tração animal na extração de madeira, concluindo que os efeitos significativos no aumento da densidade, em relação a testemunha onde não houve tráfego, ocorreu apenas na camada superficial do solo, de 0 a 10 cm.

Wang (1999) observou um aumento percentual de 50% de densidade na trilha de tráfego do animal, enquanto no interior do talhão o aumento foi de 5%. A explicação para o significativo aumento na trilha foi atribuída à concentração do tráfego.

Dedecek e Gava (2005) estudaram os efeitos do tráfego de um caminhão “toco” (4 x 2) com pneus veiculares, que ainda podem ser utilizados em pequenas propriedades na extração de madeira no interior de talhões (SEIXAS, 2008), e comprovaram diferença de compactação entre um solo argiloso e outro arenoso. No solo argiloso, o efeito de compactação ocorreu na camada de 10 cm a 20 cm. Já, no arenoso o efeito ocorreu entre 20 cm e 30 cm.

Ainda como resultado desse estudo, observou-se efeito negativo da compactação na produção da rebrota de *Eucalyptus camaldulensis*, em ambos os solos. No solo argiloso, houve redução de até 66% na produção da rebrota.

Alguns estudos têm buscado compreender o tempo de resiliência do solo, após sofrerem algum efeito de compactação na colheita florestal. Dedecek e Gava (2005) constataram um tempo de resiliência não inferior a 7 anos. Outros resultados demonstraram um tempo de resiliência não inferior a 4 anos para a densidade e de 3 anos para a resistência à penetração (HAMMEL, 1994 apud SILVA et al., 2008).

Silva et al. (2008) constataram que 51% e 73% da densidade após a compactação, nas camadas de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm, respectivamente, persistiram por 441 dias. O menor tempo de resiliência na camada superficial é esperado, tendo em vista, que nessa camada do solo há maior frequência de variação de umidade e temperatura, maior teor de matéria orgânica e maior atividade de microorganismos. Essas características são fundamentais para a reversão do processo de compactação do solo (GONÇALVES, 2002).

Os efeitos benéficos de resíduos vegetais para minimizar a compactação do solo foram comprovados por Seixas, Oliveira Junior e Souza (1998). Os autores compararam o efeito do tráfego de um trator agrícola com carreta acoplada, numa área com e outra sem resíduos vegetais na superfície do solo. A conclusão foi de que a camada de resíduos contribuiu para a redução em média de 56% do nível de compactação. Também, na área com cobertura vegetal, o aumento na densidade não atingiu o aumento percentual crítico.

Silva et al. (2007) atentaram para a redução da intensidade de trafego na área com cobertura vegetal, a fim de não anular o seu efeito benéfico. Em seu estudo, realizado num Latossolo Amarelo de textura argilosa, o número de passadas do *Forwarder* proporcionou redução linear da camada de resíduos. Na intensidade máxima de tráfego, 12 passadas, o índice de cobertura foi reduzido para 51,7%, em relação ao tratamento sem tráfego.

Seixas, Koury e Rodrigues (2003) utilizaram um sistema de malha de pontos, separados 2 m entre si, numa área de 1,25 ha, a fim de classificar a taxa de distúrbio na superfície do solo, causado pelo tráfego de *Forwarder* durante a extração de madeira. Foram determinadas 7 classes de distúrbios, sendo: 1 – sem distúrbio; 2 – com distúrbio e presença de serapilheira; 3 – com distúrbio e remoção de serapilheira; 4 – com distúrbio e solo mineral exposto; 5 – com distúrbio e solo mineral depositado sobre o terreno; 6 – distúrbio profundo e sub-solo exposto e 7 – presença de tocos, rochas ou pedras. De uma forma em geral, o método se mostrou eficiente para a averiguação de distúrbio superficial. Os resultados demonstraram que 73,1% da área não sofreram distúrbio e 26,0% sofreram algum tipo de distúrbio pelo tráfego do *Forwarder*. Da área total colhida, 10,5% sofreram um impacto mais acentuado, considerando as classes 3 e 4.

Ficklin et al. (1997) constataram uma taxa de distúrbio na superfície do solo com extração animal de 3,1%. Utilizando-se extração mecanizada, a taxa de danos

subiu para 9,7% da área. Com base nisso, concluíram que o uso de tração animal contribui para a redução de distúrbios. Mcnamara e Kaufman (1985) recomendaram o uso de tração animal para pequenas propriedades rurais. Entretanto, Shrestha e Lanford (2001) concluíram que com o uso de tração animal há um grande risco de não ser um sistema de extração rentável, devido a aspectos operacionais, como por exemplo, baixo percentual de horas trabalhadas.

Deal (2002) constatou uma taxa de 44% de danos superficiais com extração animal versus 80% com colheita mecanizada. Com base nisso e, considerando, as crescentes preocupações com os danos ambientais e sociais promovidas pela colheita, como por exemplo, a geração de distúrbios estéticos, concluiu que o uso de tração animal pode ser estimulado, principalmente para o uso no manejo florestal de pequenas áreas.

No caso da colheita de madeira em florestas naturais, o método de colheita de impacto reduzido (CIR) tem demonstrado ser uma alternativa viável para minimizar os efeitos negativos da extração de toras.

Holmes et al. (2004) concluíram que o método de colheita convencional (CV) causa mais danos físicos ao solo do que o método de CIR. Numa avaliação global, a CV acarretou danos em 10% do talhão, enquanto a CIR danificou 5%, considerando 100 ha de área manejada em cada método.

Mello-Ivo e Ross (2006), avaliando os efeitos da CIR num Latossolo Amarelo de textura argilosa, na Amazônia Central, constataram alterações físicas significativas, principalmente, na trilha do trator que, por sua vez, representou 13,8% da área total manejada. Os efeitos na trilha aumentaram significativamente os valores de densidade e de resistência à penetração e, também, causaram redução significativa na macroporosidade e na redução de disponibilidade de água. A redução da macroporosidade foi de até 50%, em relação à testemunha (floresta sem manejo).

Chauve et al. (1990 apud MELLO-IVO; ROSS, 2006) concluíram que no caso da região Amazônica, a redução da macroporosidade pelo efeito do tráfego das máquinas é o efeito mais significativo. Esse impacto pode acarretar numa drástica redução de disponibilidade de água para as plantas, atingindo taxa de até 66% menos no volume de poros com água.

No estudo de Holmes et al. (2004), foi constatado exposição de solo mineral em 100% das trilhas de tratores com a colheita convencional. Já, no caso da

colheita de impacto reduzido, esse tipo de exposição ocorreu em apenas 10% das trilhas. Associando esses resultados com a questão do efeito negativo da redução da macroporosidade, para o desenvolvimento das plantas, pode-se inferir que a CIR pode minimizar os efeitos negativos de alteração física do solo, favorecendo para a resiliência dos mesmos e para o desenvolvimento da vegetação remanescente.

2.2.2 Efeito da colheita na vegetação

O entendimento sobre o efeito da colheita na vegetação remanescente é de extrema importância para a sustentabilidade do manejo florestal.

Para Johns, Barreto e Uhl (1998), é importante que as avaliações ocorram tanto no estrato da vegetação como no âmbito estrutural das árvores. Para isso são utilizadas classificações de danos, como o exemplo a seguir: *dano pequeno* – galho maior quebrado, mas menos de um terço da copa danificada; *dano moderado* – mais de um terço da copa quebrada; *dano severo* – copa completamente quebrada. Para danos no tronco, os danos foram classificados como: *dano pequeno* – área da casca raspada numa extensão menor que 33 x 25 cm; *dano moderado* – área afetada da casca excedendo 33 x 25 cm, ou com o câmbio afetado e *dano severo* – tronco esmagado ou arrancado.

Pinto et al. (2002), numa análise dos efeitos da colheita seletiva planejada de uma floresta tropical, constataram que no geral, 33 árvores.ha^{-1} foram danificadas, sendo: 3% com danos ao tronco, 4% com danos na copa, 1% com danos no tronco e na copa e 2% de árvores mortas. Esses resultados foram obtidos com a colheita de 18 m^3.ha^{-1} de madeira. A conclusão foi de que essas taxas de danos não foram significativas para a vegetação nas classes de DAP ≥ 15 cm e com DAP entre 5 e 15 cm.

Em Meadows (1993), as maiores porcentagens de danos foram observadas no tronco, 19,8%. A porcentagem de árvores com danos múltiplos foi de 17,1%. Já a porcentagem de danos na copa e de árvores destruídas foi relativamente baixa, 1,8% e 5,1% respectivamente. No geral, constatou-se que esses danos tiveram correlação com o tamanho das árvores remanescentes e com a classe ocupada nos estratos da floresta, com a maior taxa de mortalidade ocorrendo no estrato inferior.

Além da importância para o aspecto da sustentabilidade econômica da floresta, os danos, mesmo que considerados de baixa severidade, podem ter uma implicação, a longo prazo, na sobrevivência das árvores remanescentes. Akay, Yilmaz e Tongye (2006), assim como Meadows (1993), afirmaram que as injúrias são entradas de patógenos, como fungos, que além de degradar a madeira e reduzir o seu valor econômico, podem provocar problemas fitossanitários, acarretando na mortalidade de algumas árvores.

Meadows (1993), ao investigar os efeitos da colheita seletiva para espécies de alto valor econômico, aplicando-se desbaste de 40% das árvores ou 25% da área basal inicial do povoamento, constatou que mais de 62% das árvores remanescentes sofreram danos generalizados, dos quais, 35% sofreram danos moderados.

Francez, Carvalho e Jardim (2007) constataram que a remoção média de 44,67 $m^3.ha^{-1}$ de madeira, equivalente a 4,33 $árvores.ha^{-1}$, causou a redução de 3,0% de árvores remanescentes com DAP ≥ 10 cm.

Num estudo recente, realizado num povoamento abandonado de *Eucalyptus saligna,* Onofre (2009) concluiu que a redução do estoque de árvores de eucalipto contribuiu para o desenvolvimento da regeneração natural com DAP ≥ 5,0 cm, acarretando em acréscimo na densidade, na área basal e na riqueza de espécies nativas. Os melhores resultados foram com a exclusão de 50% da área basal de eucalipto, por meio da morte de árvore em pé.

Johns, Barreto e Uhl (1998) constataram que a colheita convencional no manejo da florestal tropical na região Amazônica tem alto potencial de danos sobre a vegetação remanescente. Para cada árvore colhida com esse método, mais de 16 árvores com DAP ≥ 10 cm foram danificadas.

Meadows (1993) defende o desbaste seletivo como uma importante ferramenta de manejo silvicultural para aumentar a qualidade e o valor do povoamento remanescente. Entretanto, o autor afirma que a geração de impacto na vegetação remanescente pelo desbaste é inevitável.

Andrade et al. (1999), num estudo sobre os impactos ambientais decorrentes de 2 sistemas de colheita em floresta plantada, observaram que no sistema de toras curtas, com 2,4 m de comprimento, houve um percentual igual de danos negativos no solo e na vegetação, que foi de 27% em cada. Já, no sistema de toras longas, com 5,5 m, a taxa de danos foi maior no solo do que na vegetação,

31% e 30% respectivamente. Apesar dessa diferença, constatou-se que não houve diferença relativa entre os sistemas, porém, concluiu-se que ambos apresentam grande potencial de efeitos negativos.

O fundamental é conseguir identificar no sistema de colheita, quais operações apresentam maior potencial de impactos. Akay, Yilmaz e Tongye (2006) ressaltaram que uma das medidas para reduzir impactos é fazer uma escolha cuidadosa das máquinas, a qual deverá levar em consideração o tamanho das árvores a serem colhidas, as características estruturais do povoamento e as condições edáficas do local, solo e relevo.

Esses autores constataram diferenças na taxa de danos em árvores remanescentes, quando compararam o *Skidder* com o *Forwarder*. No caso do *Skidder* a taxa de danos foi de 22% a 25% enquanto que, com o *Forwarder,* a taxa de danos foi de 4% a 14%. Esse resultado foi atribuído ao fato do *Skidder* danificar um número maior de árvores por meio do arraste de toras.

Quanto ao poder de resiliência da vegetação após a colheita florestal, Rivero et al. (2008), comparando os resultados entre o sistema de colheita convencional e o de impacto reduzido, após 4 anos da colheita de madeira, constataram que no método de impacto reduzido a vegetação remanescente tinha recuperado os valores iniciais de área basal e de densidade. Já, na colheita convencional, a área basal não tinha alcançado os valores iniciais. Vidal, Viana e Batista (2002) constataram na área onde foi realizada colheita de impacto reduzido, após 3 anos, um incremento de área basal de 1,7 vezes mais do que na área convencional e, também, de 1,9 vezes mais do que na área onde não havia sido realizada colheita (testemunha). Com base nessas informações, nota-se que a colheita de impacto reduzido possibilita uma melhor e mais rápida recuperação da vegetação remanescente.

Com base no exposto, para aumentar a garantia da sustentabilidade do manejo florestal, fica claro a necessidade de se estabelecer medidas mitigadoras de impactos da colheita. Nesse sentido, Akay, Yilmaz e Tongye (2006); Clatterbuck (2006); Johns, Barreto e Uhl (1998); Meadows (1993); Pereira Jr. et al. (2002); Pinto et al. (2002) recomendam o seguinte:

- realizar a colheita florestal com um ótimo planejamento operacional.
- promover o corte e a queda direcionada das árvores.
- implementar trilhas de arraste de madeira de forma planejada.

- promover o treinamento e a capacitação da equipe operacional.

Para Barbosa (2007), a comunidade científica tem o grande desafio de pesquisas e ações que subsidiem políticas públicas, capazes de melhorar a qualidade dos plantios florestais, além de agilizar os processos de licenciamento ambiental, a partir de planejamentos qualitativos, aperfeiçoados com os parâmetros fornecidos pela pesquisa científica e pelas experiências práticas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

3.1.1 Localização

A área experimental foi instalada na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (EECFI), da Universidade de São Paulo (USP), e que é administrada pelo Departamento de Ciências Florestais (LCF) da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ). Ela está localizada entre os paralelos 23º00'55" – 48º39'57" latitude sul e os meridianos 48º37'00" – 48º39'57" longitude oeste, no município de Itatinga, estado de São Paulo (Figura 1).

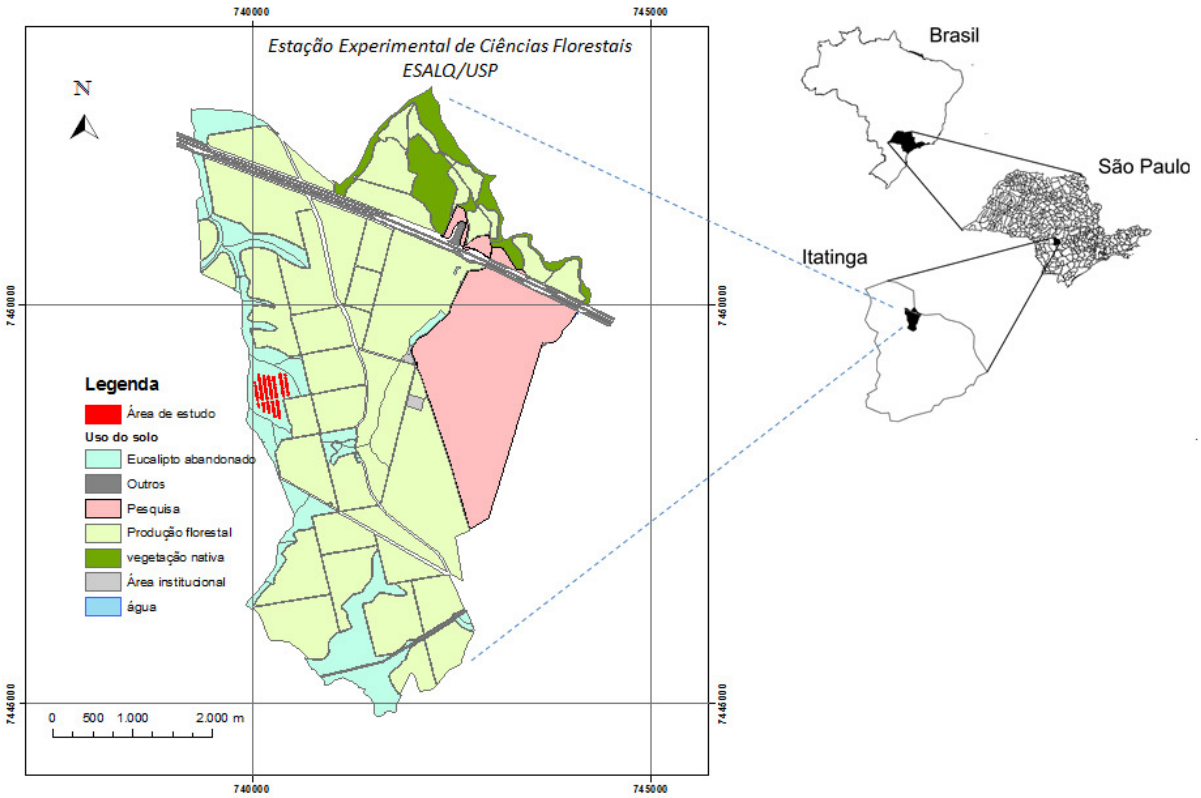

Figura 1 – Localização da Estação Experimental de Itatinga e da área experimental do estudo

3.1.2 Caracterização edafoclimática

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é classificado como Cfa: úmido e quente no verão, inverno frio e pouco seco. A precipitação média anual é de 1400 mm, com maior concentração de chuvas no verão. A temperatura média anual é de 20,4 ^{o}C, com mínimo de 8,9 ^{o}C em julho e máxima de 28,8 ^{o}C em janeiro (GONÇALVES et al., 2012).

O relevo na área experimental apresenta pouca variação de declividade, 2% a 10%. O solo foi classificado, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura média (LVAd). Nas camadas A1 e Bw, 0 a 90 cm de profundidade, Figura 2, (GONÇALVES et al., 2012).

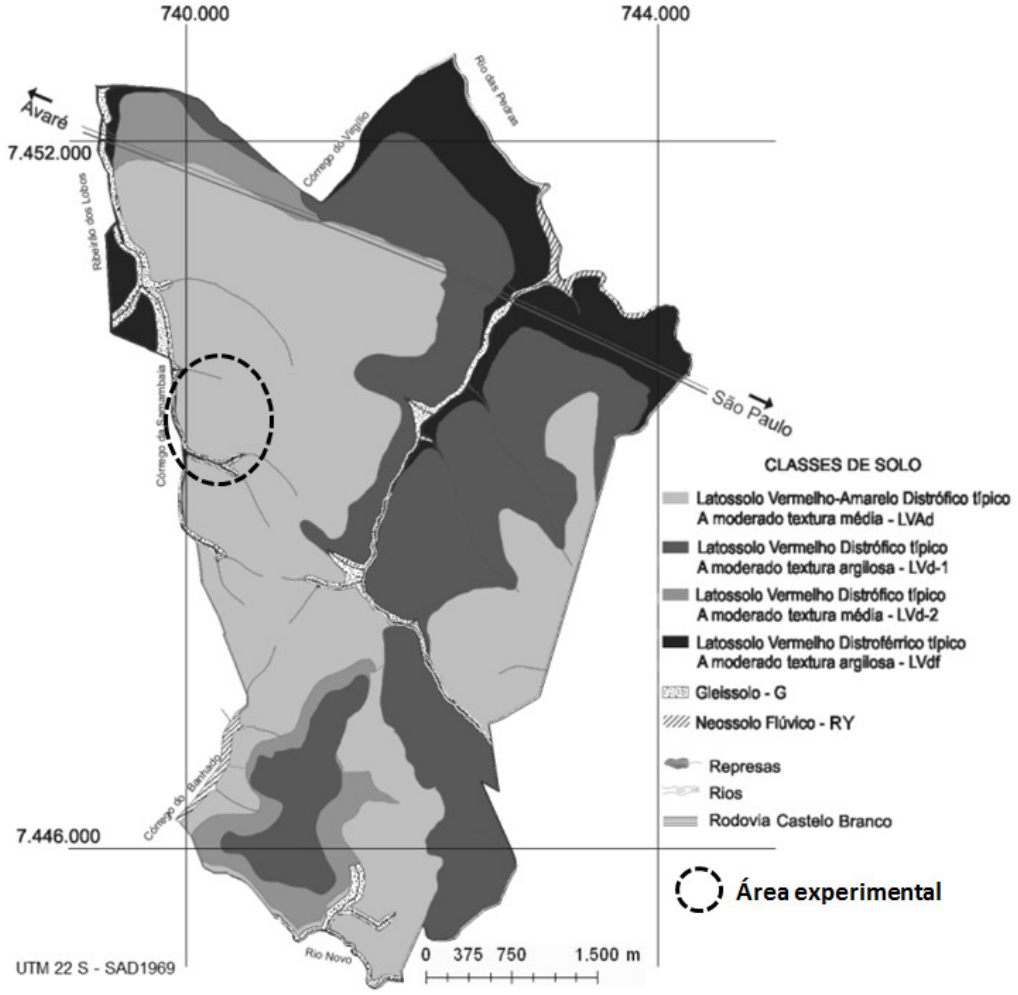

Figura 2 – Tipos de solos da Estação Experimental destacando o local da área de estudo.
Fonte: adaptado de Gonçalves et al. (2012)

3.1.3 Área experimental

A área total da Estação Experimental é de 2247 ha, sendo que as suas áreas de preservação permanente somam 157,3 ha, que representa 7%, as áreas de reserva legal somam 449,4 ha, que representa 20%.

Grande parte das áreas destinadas para reserva legal está ocupada com antigos plantios de eucalipto com vegetação nativa no sub-bosque, que somam 288 ha e que representam em torno de 13% da área da EECFI. A Figura 3 apresenta a distribuição espacial desses plantios abandonados de eucalipto.

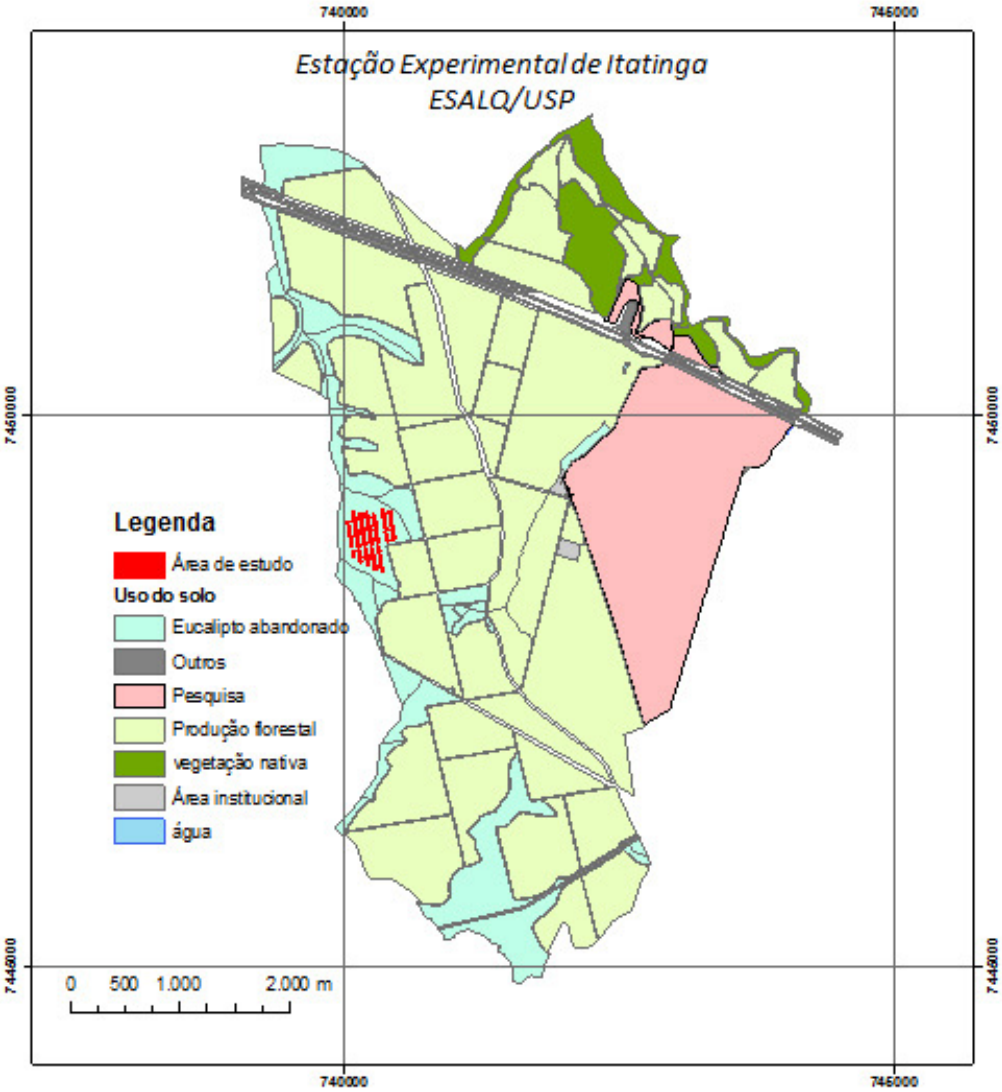

Figura 3 – Distribuição espacial dos usos do solo da EECFI, identificando a área experimental do estudo em vermelho

A área experimental possui 4,41 ha e foi estabelecida num antigo talhão de produção de *Eucalyptus saligna* Smith. com área de 33,3 ha, que se encontra sem manejo por aproximadamente 40 anos. No sub-bosque ocorre regeneração natural composta por árvores, arvoretas e arbustos representativos de cerradão e floresta estacional semidecidual.

Figura 4 – Aspectos da vegetação no interior do talhão: (A) região com alta densidade de eucalipto; (B) região com média densidade de eucalipto; (C) região com baixa densidade de eucalipto

3.2 Inventário florestal

No início foi realizado o inventário 100% em sistema de faixas, tanto da população de *Eucalyptus saligna* quanto da população de espécies nativas do sub-bosque, adaptando-se para as condições desse estudo as metodologias recomendada por Amaral, Veríssimo, Barreto e Vidal (1998); Lamprech (1990); Netto e Brena (1993); Soares, Paula Neto e Souza (2006).

Antes da demarcação das faixas, foram abertas sete picadas equidistantes 60 m uma das outras, com orientação do sul ao norte. A cada 30 m ao longo do eixo central da picada, foram fixadas estacas de madeira com 1,20 m de altura, para melhor controle do rumo estabelecido para a caminhada.

Para a orientação das picadas foi utilizada bússola de agrimensor com luneta e tripé, modelo LS-25 da marca Ushikata. As estacas das extremidades de cada picada foram georreferenciadas, em utm, pelo sistema geodésico SIRGAS 2000, utilizando-se GPS geodésico.

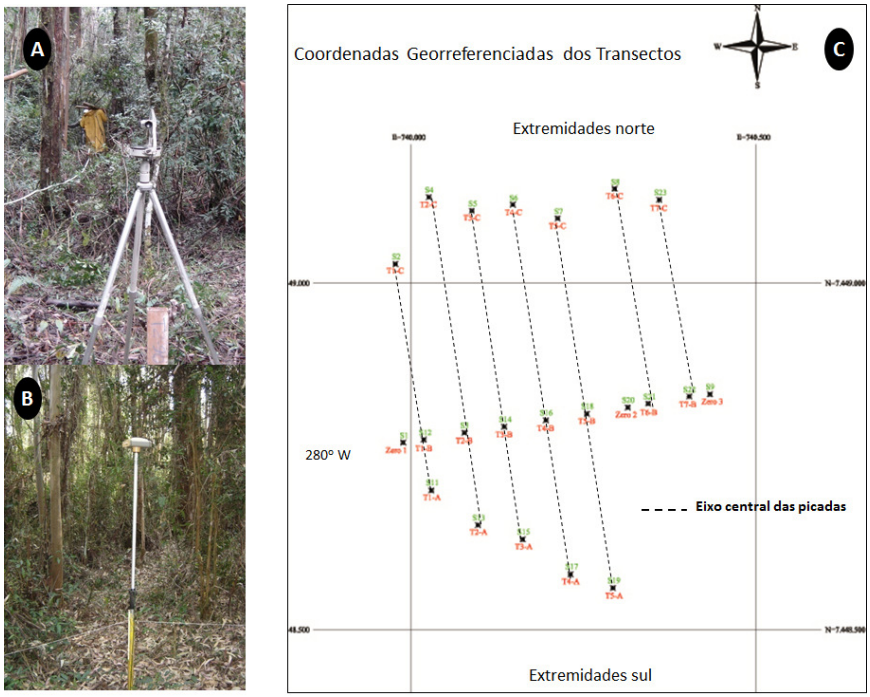

Figura 5 – Aspectos operacionais da abertura e mapeamento das picadas: (A) orientação do rumo com bússola de agrimensor; (B) GPS geodésico utilizado no georreferenciamento; e (C) pontos georrefenciados em cada picada

A largura das faixas para o inventário foi estabelecida em 30 m. A demarcação dessa largura no campo se deu a partir das estacas do eixo central da picada, fixando uma estaca de cada lado, numa distância de 15 m. Essas estacas, além de contribuir para a orientação da equipe no campo, serviram como referência às medições das coordenadas de localização (x,y) das árvores. Assim, foram constituídas sete faixas com 30 m de largura cada e com comprimento variado, tendo em vista que foi delimitado pelos limites da área de preservação permanente, nas bordas do talhão.

Para a amostragem dos indivíduos na população de espécies nativas, foi estabelecida uma circunferência a altura do peito (CAP) mínima de 16 cm, promovendo a inclusão de todos os indivíduos com diâmetro a altura do peito (DAP) a partir de 5,1 cm. A determinação de utilizar o CAP ao invés do DAP se deu em função da necessidade de uso de trena para a medição do perímetro do fuste, uma vez que, não havia disponibilidade de fita diamétrica (ENCINAS; SILVA; KISHI, 2002).

Em primeiro lugar, realizou-se o censo da população de *Eucalyptus*, medindo a altura dos indivíduos com Vertex. Após a conclusão desse censo, realizou-se o inventário na população nativa, sendo que a altura foi aferida com uma

vara graduada de 16 m. A partir do limite da vara, estimou-se a altura com base no indivíduo de eucalipto mais próximo, visto que, já havia sido obtida a sua altura com Vertex.

Todos os indivíduos das duas populações foram mapeados e identificados com plaqueta de alumínio, contendo número serial e identificação da população, usando como código, a letra E para eucalipto e N para nativas. De alguns indivíduos de espécie nativa coletou-se material botânico, com a vara graduada que também é utilizada como podão, que foi seco em estufa e disponibilizado para identificação do nome científico e da família no herbário da ESALQ/USP (Figura 6).

Para todos os indivíduos de espécies nativas foram anotadas as características do estado geral da copa e do fuste, bem como da posição em que se encontrava, ou seja, se na vertical ou arcada. Essas informações foram referências fundamentais para a avaliação dos danos estruturais ocorridos após a extração de madeira.

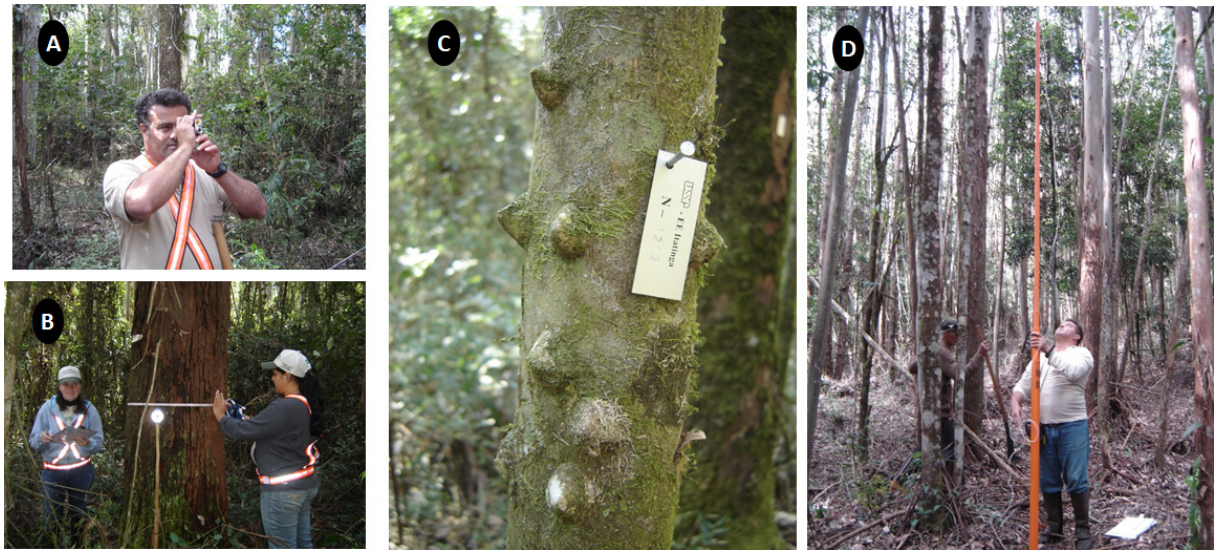

Figura 6 – Aspectos operacionais do inventário: (A) medição de altura com Vertex; (B) mensuração do CAP, com detalhe do sensor do Vertex ao centro; (C) plaqueta metálica utilizada na identificação dos indivíduos; e (C) medição de altura e coleta de material botânico com o uso de vara graduada

Vale destacar que no decorrer do inventário, foi realizado o corte de cipós ao redor das árvores de eucalipto, bem como, ao redor de algumas árvores nativas, como medida para minimizar os riscos de danos estruturais nas árvores remanescentes no momento da queda do eucalipto (AMARAL, VERÍSSIMO,

BARRETO; VIDAL, 1998). Esse corte se deu aproximadamente 12 meses antes do início da colheita florestal.

A anotação das coordenadas x e y, tanto dos indivíduos de eucalipto como de espécies nativas, foi realizado no momento do inventário de cada população, sempre pela mesma pessoa, a fim de reduzir a subjetividade da medição. O método utilizado nesse mapeamento foi adaptado de exemplos da literatura (AMARAL, VERÍSSIMO, BARRETO; VIDAL 1998; SOARES, PAULA NETO; SOUZA, 2006).

Nesse estudo, cada estaca fixada no eixo central da faixa foi considerada como ponto 0. Como o eixo central se refere ao eixo das ordenadas, a distância entre o indivíduo arbóreo e a estaca foi considerada como o valor de y. A localização do indivíduo no eixo das abscissas, que se refere ao valor de x, foi estimada a partir da sua distância em relação ao eixo central.

A partir das coordenadas georreferenciadas de cada estaca, somou-se o valor de y e de x, obtendo-se as coordenadas em utm de cada indivíduo arbóreo. É importante ressaltar que para a obtenção da coordenada de longitude oeste, quando a árvore se encontrava a esquerda do eixo central, o valor de x foi somado ao valor da coordenada em utm da estaca referência. Se o indivíduo se encontrava a direita do eixo central, o valor de x foi subtraído (Figura 7).

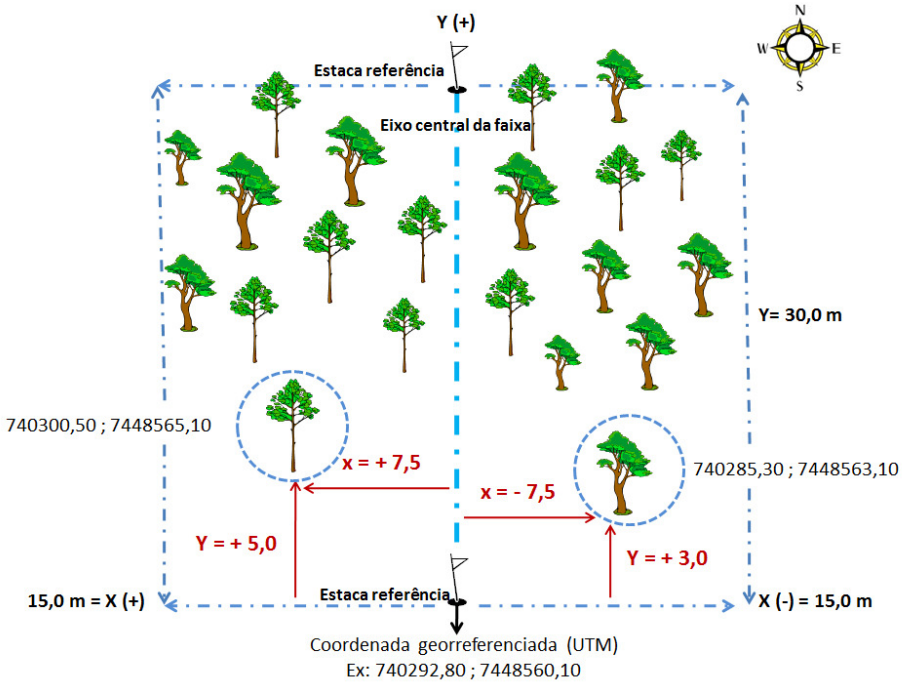

Figura 7 – Esquema do sistema utilizado na anotação das coordenadas x e y dos indivíduos arbóreos

A partir da coordenada em utm de cada indivíduo arbóreo, e os respectivos valores de volume (m^3) e de área basal (m^2), por meio das ferramentas do software ArcGis 9.2, realizou-se a interpolação desses valores para o talhão, gerando mapas com três classes desses parâmetros. Esses mapas ajudaram na interpretação visual da heterogeneidade espacial que existe ao longo do sítio, tanto na população de eucalipto quanto na população de espécies nativas (Figura 8).

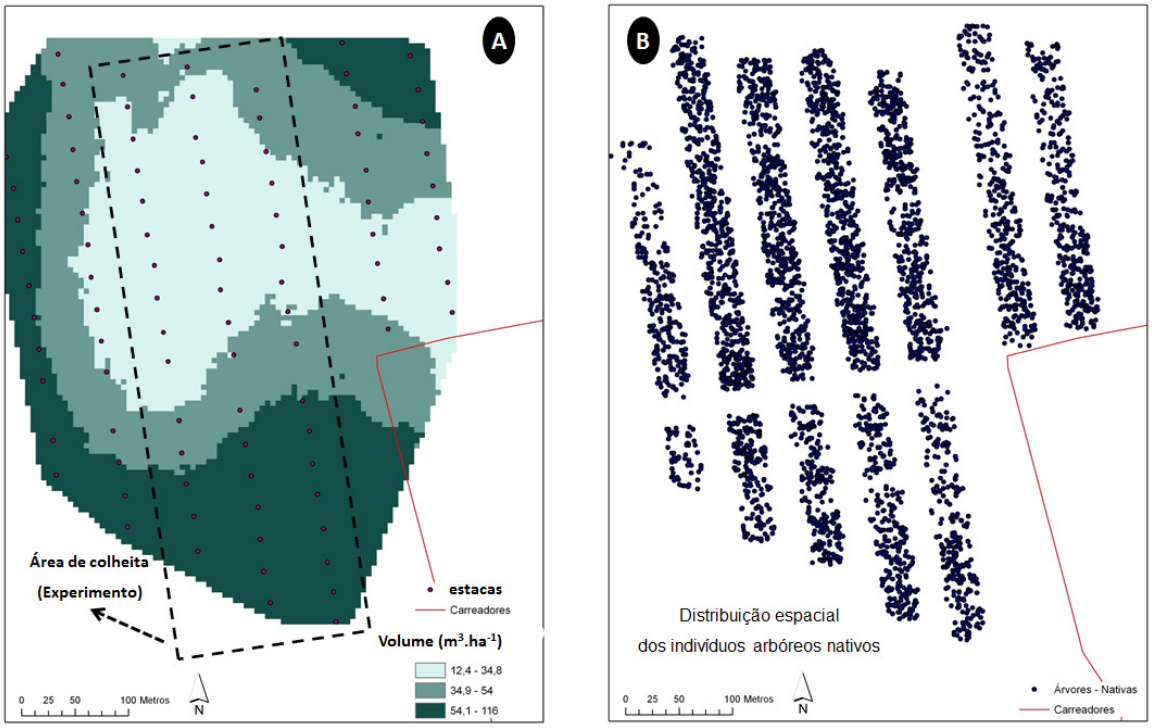

Figura 8 – (A) Distribuição espacial das classes de volume da população de eucalipto, destacando a área onde foi realizada a colheita (experimental); (B) distribuição espacial dos indivíduos da população de espécies nativas, ao longo das faixas de inventário

A equação utilizada para o cálculo do volume das espécies nativas, eq. (1), foi desenvolvida pelo Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) e recomendada para vegetação secundária no Brasil (SOARES, PAULA NETO; SOUZA, 2006).

$$\mathbf{VTCC = 0{,}000074 * DAP^{1{,}707348} * Ht^{1{,}16873}} \qquad (1)$$

Onde:

VTCC = volume total com casa (m^3)

DAP = diâmetro com casca (cm) a 1,30 m do solo

Ht = altura total (m)

Para o cálculo do volume da população de *Eucalyptus saligna,* utilizou-se a eq. (2), recomendada por Foelkel (2009).

$$\mathbf{V = 0{,}00007854 * (DAP)^2 * A * FA} \qquad (2)$$

Onde:

V = volume de madeira comercial (m^3)

DAP = diâmetro com casca (cm) a 1,30 m do solo

A = altura comercial (m)

FA = fator de aproveitamento, considerado igual a 0,7.

Para o cálculo da área basal das duas populações foi utilizado a eq. (3) (SOARES, PAULA NETO; SOUZA, 2006).

$$\mathbf{AB = \sum gi} \qquad (3)$$

Onde:

AB = área basal ($m^2.ha^{-1}$)

gi = área seccional ($3{,}1416*DAP^2/40000$)

3.3 Delineamento experimental

A partir da constatação nas duas populações da heterogeneidade espacial de volume e de área basal no talhão, adotou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002). Pelo mapa das classes de volume de eucalipto ao longo do talhão, foram definidos três blocos.

Foram testados três tratamentos, que foram instalados em faixas devido aos aspectos operacionais da colheita. Para cada tratamento instalou-se três parcelas de 30 x 30 m em cada bloco, totalizando 9 parcelas e uma área amostral de 0,81 ha por tratamento. Para a delimitação física das parcelas, aproveitaram-se as

demarcações com estacas ao longo das faixas que haviam sido feitas no inventário. A área total de amostragem foi de 2,43 ha (Figura 9).

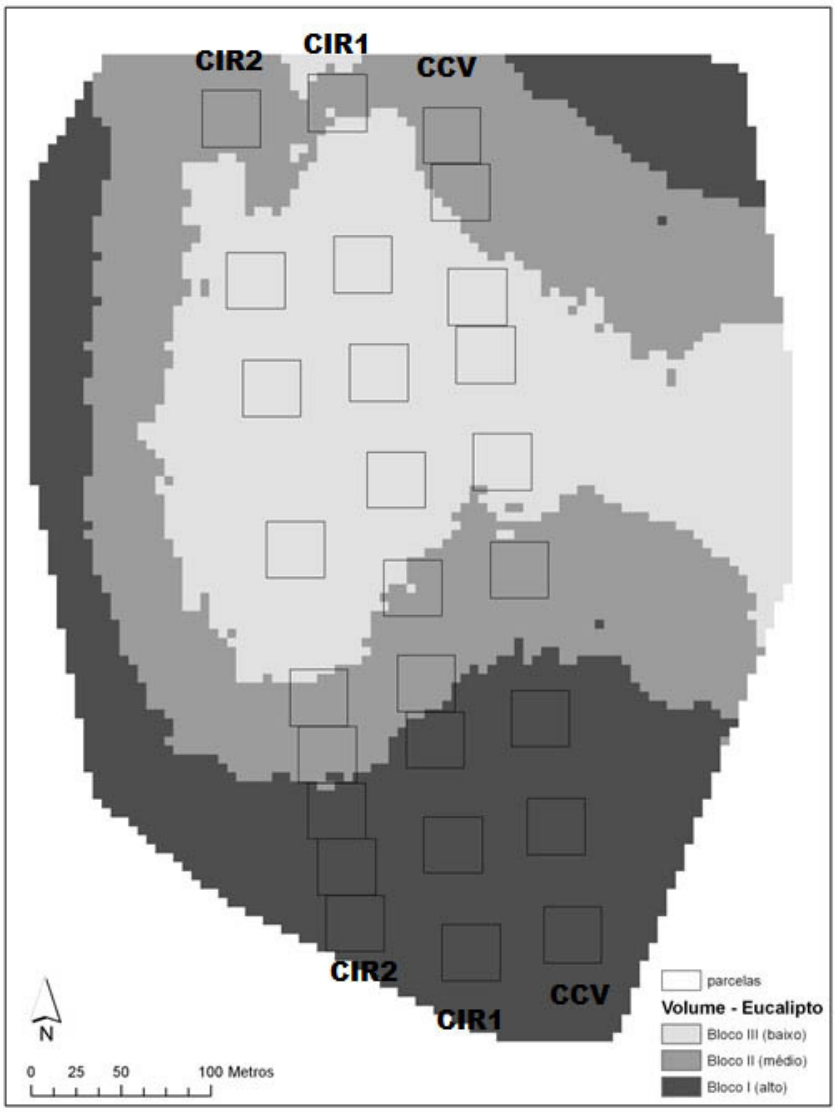

Figura 9 – Distribuição espacial dos blocos e das parcelas em cada tratamento

Nesse estudo extraiu-se 100% das árvores de eucalipto, em duas etapas, utilizando-se dois sistemas de colheita, convencional e de impacto reduzido. Na etapa 1 foram extraídas as árvores com DAP ≤ 30 cm, para uso como lenha. Na etapa 2, foram extraídas as toras remanescentes, com uso voltado para serraria.

A colheita florestal aconteceu entre fevereiro de 2011 e março de 2012, sendo que a sua realização em 2 etapas foi essencial, tanto para o controle experimental quanto para o melhor aproveitamento dos recursos madeireiros.

3.3.1 Tratamentos

CCV: colheita convencional com extração mecanizada nas duas etapas.

CIR1: colheita de impacto reduzido com extração mecanizada nas duas etapas.

CIR2: colheita de impacto reduzido com associação de extração animal para lenha e extração mecanizada para tora.

A colheita de impacto reduzido diferenciou-se da colheita convencional, pelo maior rigor no planejamento e no controle operacional, que teve como referencial o sistema utilizado de manejo florestal sustentável na Amazônia (AMARAL, VERÍSSIMO, BARRETO; VIDAL 1998).

Além do corte direcionado de árvores, antes de iniciar a extração, nos tratamentos CIR1 e CIR2, fez-se *in loco* a demarcação com estacas sinalizadas do rumo dos ramais de extração de madeira. Nessa demarcação, deu-se prioridade da passagem por áreas menos densas de vegetação nativa, bem como, deu-se prioridade os indivíduos arbóreos adultos. A abertura pelo trator foi supervisionada pela equipe da pesquisa (Figura 10).

Figura 10 – (A) demarcação do eixo principal do ramal com estacas sinalizadas; (B) aspecto geral após a abertura do ramal no início da etapa 1 (colheita de lenha) no CIR1

Os recursos operacionais utilizados em cada tratamento e em cada etapa encontram-se descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Recursos operacionais utilizados para a colheita florestal em cada sistema de colheita, de cada tratamento

Tratamentos		
CCV	**CIR1**	**CIR2**
---------- Etapa 1(colheita de lenha) ----------		
- Trator Ford ano 1962, 4 x 2 com 60 kW - Carreta agrícola (capacidade de carga de 14,0 m^3) - Motosserra STHIL (MS381) com 3,9 kW	- Trator Ford ano 1962, 4 x 2 com 60 kW - Carreta agrícola (capacidade de carga de 14,0 m^3) - Motosserra STHIL (MS381) com 3,9 kW	- Cavalo (sem raça definida) - Carroça (carga média 1,2 m^3) - Motosserra STHIL (MS381) com 3,9 kW
---------- Etapa2 (colheita de tora) ----------		
- Trator Valmet ano 1990, 4 x 4 com 128 kW - mini-Skidder - Motosserra STHIL (MS660) com 5,2 kW	- Trator Valmet ano 1990, 4 x 4 com 128 kW - mini-Skidder - Motosserra STHIL (MS660) com 5,2 kW	- Trator Valmet ano 1990, 4 x 4 com 128 kW - mini-Skidder - Motosserra STHIL (MS660) com 5,2 kW

Nota: CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2

Nos tratamentos CCV e CIR1, a lenha foi extraída com carreta agrícola até o pátio, com uma carga média de 10,0 m^3 por viagem. No tratamento CIR2, a lenha foi extraída com carroça até a margem do carreador, com uma carga média de 1,2 m^3 por viagem. A lenha geralmente foi extraída com comprimentos entre 1,0 m e 1,3 m. Já, na extração de tora, nos três tratamentos foi utilizado um mini-Skidder que extraiu a tora do interior do talhão até o pátio, com tamanho médio de 15,0 m.

Para viabilização operacional da colheita, foram contratados dois empreiteiros, um para a extração da lenha e outro para a extração de tora. Os equipamentos utilizados foram definidos pela disponibilidade dos empreiteiros.

Figura 11 – Colheita florestal do estudo: (A) corte com motosserra; (B) extração mecanizada na etapa 1 (colheita de lenha); (C) extração com animal na etapa 1 (colheita de lenha); (D) extração mecanizada na etapa 2 (colheita de tora)

3.3.2 Variáveis dos atributos físicos do solo

Distúrbios superficiais: mediu-se a área em m^2 na superfície do solo que sofreu alterações físicas, utilizando-se quatro classes de distúrbios: classe 1 – sem distúrbio (testemunha); classe 2 – leve: com cobertura vegetal e sem remoção de serapilheira; classe 3 – moderado: sem cobertura vegetal e remoção de serapilheira; classe 4 – severo: sem cobertura vegetal e exposição do solo mineral. Para avaliar a distribuição espacial do distúrbio na parcela, utilizou-se uma malha de barbante com quadrículas de 2,0 m x 1,0 m, totalizando 450 quadrículas de 2,0 m^2 por parcela. No centro de cada quadrícula foi atribuído uma classe de distúrbio predominante.

Esse método foi adaptado do estudo de Seixas, Koury e Rodrigues (2003), no qual foram utilizadas sete classes de distúrbios. De acordo com Seixas (2002), esse método pode gerar imprecisão quando se utiliza várias classes, principalmente, quando da avaliação em áreas cobertas com grande quantidade de resíduos que dificultam a identificação de distúrbios na superfície.

Nesse contexto, a fim de diminuir a imprecisão e a subjetividade, foram adotadas apenas quatro classes. O uso da planilha de campo com as anotações da etapa anterior foi fundamental para manter a coerência da avaliação entre as etapas.

Figura 12 – Exemplo de distribuição espacial de distúrbios superficiais após a colheita de lenha (etapa 1) no CIR1: (A) região sem distúrbio; (B) região com distúrbios moderado e severo; (C) região com distúrbio leve

Figura 13 – Aspectos gerais do sistema de malha utilizado na avaliação dos distúrbios superficiais

Resistência à penetração (RP)**:** a resistência à penetração foi medida utilizando-se penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar (STOLF, 1991), até 40 cm de profundidade. As medições foram realizadas em 5 quadrículas de cada classe de distúrbio superficial por parcela, totalizando 20 pontos amostrais por parcela e 180 pontos por tratamento em cada etapa. Esses pontos foram sorteados entre as 450 quadrículas em cada parcela, da malha instalada para avaliação do distúrbio superficial. O valor de resistência à penetração obtida pela eq. (4) foi multiplicado por 0,1 para transformação do valor em MPa.

$$\mathbf{R = 5{,}6 + 6{,}89*N} \qquad (4)$$

Onde:

R = resistência à penetração (MPa)

N = número de impactos/dm

Densidade Aparente (Ds): a densidade aparente do solo foi medida coletando-se amostras de solo com martelo deslizante AMS e anel metálico, em uma quadrícula de cada classe de distúrbio por parcela, totalizando 36 pontos amostrais em cada tratamento e em cada etapa. Foi realizada amostragem até 40 cm de profundidade, coletando-as amostras em quatro profundidades: 5 a 10 cm; 15 a 20 cm; 25 a 30 cm; e 35 a 40 cm. As amostras foram secas em estufa a 105º C por 24 horas. As amostras foram pesadas antes e após a secagem para determinar o teor de água no solo. A equação utilizada foi:

$$\mathbf{Ds = Mss/Vt} \qquad (5)$$

Onde:

Ds = densidade aparente do solo ($g.cm^{-3}$)

Mss = massa do solo seco (g)

Vt = volume do anel metálico (cm^{-3})

Figura 14 – Detalhes operacionais: (A) medição de resistência à penetração com penetrômetro de impacto; e (B) coleta de solo com anéis metálicos para medir a densidade

3.3.3 Variáveis da estrutura da vegetação

Danos estruturais: para a avalição dos danos estruturais após a colheita, foram estabelecidas três classes de danos: classe 1 – intactas: indivíduo na vertical e sem danos aparentes; classe 2 – danificadas: indivíduo na vertical com danos aparentes e indivíduo arcado com ou sem danos; classe 3 – mortas: indivíduos desaparecidos, tombados ou quebrados no fuste. Esse método foi adaptado de Johns, Barreto e Uhl (1998) e, como no caso de distúrbios superficiais no solo, optou-se em apenas três classes de danos a fim de reduzir a subjetividade da avaliação. As avaliações foram realizadas logo após a conclusão da colheita.

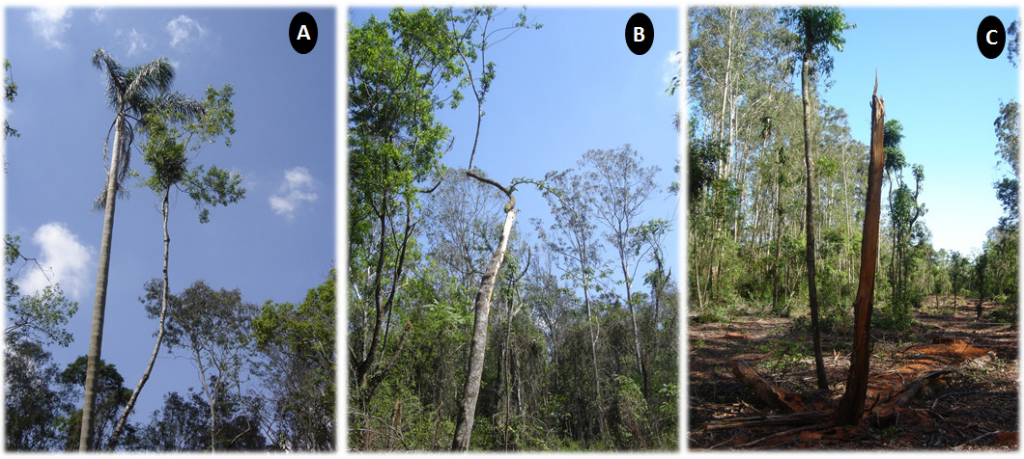

Figura 15 – Exemplos de danos estruturais: (A) árvore intacta; (B) árvore danificada; (C) árvore morta

Área basal: para a avaliação da área basal foram utilizados os dados do inventário pré-colheita. Para aferição da área basal remanescente após cada etapa de colheita, foram excluídos os indivíduos da classe 3 e realizados novos cálculos.

3.3.4 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey. Os parâmetros dos modelos, tais como homogeneidade de variâncias e distribuição normal dos resíduos, foram checados pelo teste de Bartlett e Shapiro-Wilk, sendo realizada a transformação dos dados quando necessário. Também foi realizado o teste de correlação de *Pearson* (r) na correlação de algumas variáveis. Todas as análises foram realizadas usando o software R versão 2.15.1.

3.4 Avaliação de custos e receitas

No final da colheita, foi realizada uma avaliação da rentabilidade de cada sistema de colheita de cada tratamento. A análise foi feita com base nos valores reais de mercado, que foram repassados pelos empreiteiros. A margem de receita foi obtida pela eq. (6) que foi adaptada de Nolasco e Viana (2004).

$$\mathbf{MR = RL / Ct * 100} \qquad (6)$$

Onde:
MR = margem de receita (%)
RL = receita líquida (R$)
Ct = custo total (Ct)

3.5 Averiguação da eficiência do delineamento experimental

A área amostral desse estudo representa 55% da área total de colheita de madeira. No total foram identificados e monitorados 1350 indivíduos arbóreos nativos na regeneração natural do sub-bosque.

Comparando-se a área amostral com a área de abrangência da colheita florestal, tanto na população de *Eucalyptus saligna* quanto na população de espécies nativas, não foram observadas diferenças significativas de área basal e de volume médio (Tabela 2).

Tabela 2 – Parâmetros sobre a área da colheita florestal como um todo e da área amostral, comparando-as em termos de área basal e de volume médio, tanto da população de *Eucalyptus saligna* quanto de espécies nativas

Área de abrangência	**Tamanho**	**Densidade arbórea**		**Área basal**	**Volume**	
	ha	Indivíduos	Indivíduos.ha^{-1}	m^2.ha^{-1}	m^3.ha^{-1}	m^3
	---------- População de *Eucalyptus saligna* ----------					
Colheita florestal	4,41	1596	362	24,37 (a)	416,61 (a)	1837,27
Amostral (parcelas)	2,43	839	345	24,38 (a)	420,74 (a)	1022,40
	---------- População de espécies nativas ----------					
Colheita florestal	4,41	2521	572	7,21 (a)	41,79 (a)	184,28
Amostral (parcelas)	2,43	1350	556	7,09 (a)	40,51 (a)	98,42

Nota: médias seguidas de letras iguais na mesma coluna e na mesma população não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$)

Os valores aferidos sobre o volume médio de madeira a ser colhida, sobre a quantidade média de árvores nativas vivas e sobre o valor de área basal da vegetação arbórea do sub-bosque, não demonstraram diferenças entre os tratamentos no início do estudo (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores médios de parâmetros estruturais do povoamento de *Eucalyptus saligna* e da vegetação nativa do sub-bosque, antes da colheita florestal

Tratamentos	***Eucalyptus saligna***	**Espécies Nativas**	
	Volume	**Vivas**	**Área basal**
	m^3.ha^{-1}	indivíduos.ha^{-1}	m^2.ha^{-1}
CCV	289,61 (a)	547 (a)	6,77 (a)
CIR1	277,57 (a)	526 (a)	7,21 (a)
CIR2	316,37 (a)	593 (a)	7,28 (a)

Nota: CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2; ind. - indivíduos. Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$)

As similaridades, dos parâmetros estruturais da população de eucalipto e da regeneração natural, que foram constatadas entre a área amostral e a área total de onde se realizou a colheita florestal (Tabela 2) e, também, entre os tratamentos (Tabela 3), confirmaram a premissa de igualdade entre as áreas.

Analisando os valores da Tabela 4, observa-se variação espacial no talhão, tanto da estrutura da vegetação regenerada no sub-bosque e como do volume de *Eucalyptus*.

Tabela 4 – Valores aferidos em cada bloco de densidade e de área basal da vegetação nativa do sub-bosque e de área basal e de volume da população de *Eucalyptus*

Variável	**Blocos**		
	I	**II**	**III**
	---------- Regeneração natural ----------		
Densidade (indivíduos.ha^{-1})	469	578	620
Área basal (m^2.ha^{-1})	4,68	7,70	8,88
	---------- *Eucalyptus saligna* ----------		
Área basal (m^2.ha^{-1})	31,71	23,06	18,37
Volume (m^3.ha^{-1})	454,14	228,40	201,01

A variação de área basal da regeneração natural, entre os blocos, mostra uma heterogeneidade estrutural de sítios. Nota-se também, uma heterogeneidade de volume e de área basal de eucalipto entre eles, seguindo a mesma tendência dos parâmetros da regeneração. Ou seja, é evidente uma influência do volume e da área basal de eucalipto sobre a área basal e a densidade da regeneração natural.

A aplicação do teste de correlação de *Pearson* confirmou essa evidência, mostrando correlação inversa entre os parâmetros das duas populações, o que também foi comprovado por Onofre, Engel e Cassola (2010). Ou seja, no sítio com maior volume e área basal de eucalipto ocorre menor densidade e área basal de árvores nativas e vice-versa (Tabela 5).

Tabela 5 - Análise de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros estruturais da população de *Eucalyptus* e da população de espécies nativas, antes do início da colheita

População de *Eucalyptus saligna*	**População de espécies nativas**	
	Área basal ($7{,}09\ m^2.ha^{-1}$)	**Densidade** ($556\ ind.ha^{-1}$)
Área basal ($24{,}38\ m^2.ha^{-1}$)	r = - 0,701742 p < 0,0001	r = - 0,561618 p < 0,0001
Volume ($420{,}74\ m^3.ha^{-1}$)	r = - 0,683348 p < 0,0001	r = - 0,546934 p < 0,0001

Nota: Os valores entre parênteses se referem às médias de área basal, de volume e de densidade

A correlação observada, entre os parâmetros estruturais da população de *Eucalyptus* com os parâmetros da regeneração natural do sub-bosque, comprovou a variação de sítio e o efeito de blocos no talhão de eucalipto.

Apesar de observada a heterogeneidade na densidade de eucalipto entre sítios, não foi possível identificar um fator determinante para essa variação. Entretanto, com base no contexto histórico do local e no aspecto visual da ocupação pelo eucalipto, podem ser feitas algumas inferências.

Segundo o Sr. Ludogero Mendes Lourenço (comunicação pessoal), que foi o mateiro da equipe de inventário e é um antigo madeireiro que chegou a extrair madeira no talhão desse estudo, na época da ferrovia não havia um manejo florestal planejado e uma sistematização da colheita. A definição do local e do volume a ser colhido se dava em função de demandas pontuais. Ou seja, no mesmo talhão, ora se colhia madeira para obtenção de lenha ou dormentes, ora para obtenção de tora.

Nesse contexto, infere-se que entre os fatores que podem ter gerado a diferença de volume de eucalipto nos sítios, a extração de madeira não planejada foi um dos principais. Consequentemente, ao longo do tempo, a regeneração natural de espécies nativas no sub-bosque foi se estabelecendo de forma heterogênea devido à variação da densidade do eucalipto e se desenvolvendo em função da competição por recursos naturais.

Alguns autores, como Sartori, Poggiani e Engel (2002) afirmaram que a composição e estrutura florística da regeneração do sub-bosque depende, também, de características edáficas do sítio. A partir disso e, também, da comprovação da

heterogeneidade estrutural da regeneração na área experimental, houve a preocupação em analisar alguns atributos físicos do solo, para investigação de possível diferença entre as áreas dos tratamentos e que pudesse influenciar os resultados da pesquisa, (Tabela 6).

Tabela 6 – Valores de parâmetros físicos do solo da área experimental

Tratamentos	Blocos	Argila	Silte	Areia	Densidade de partículas
		---------- % ----------			$g.cm^{-3}$
---------- Profundidade (15 – 20 cm) ----------					
CCV	I	12	2	86	2,50
CIR1	I	10	2	88	2,50
CIR2	I	6	2	92	2,63
CCV	II	12	2	86	2,94
CIR1	II	8	2	89	2,50
CIR2	II	8	1	91	2,44
CCV	III	10	2	88	2,86
CIR1	III	14	2	84	2,70
CIR2	III	12	2	86	2,56
---------- Profundidade (25 – 30 cm) ----------					
CCV	I	14	2	84	2,50
CIR1	I	12	2	86	2,63
CIR2	I	10	1	89	2,70
CCV	II	16	1	83	2,78
CIR1	II	10	3	87	2,63
CIR2	II	10	2	88	2,50
CCV	III	12	2	86	2,63
CIR1	III	12	7	81	2,50
CIR2	III	14	1	85	2,44

Nota: CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2.

Os resultados da análise física demonstraram o mesmo padrão de textura entre os blocos e as parcelas amostrais, tanto de 15 a 20 cm como de 25 a 30 cm de profundidade, comprovando se tratar do mesmo tipo de solo em toda área experimental.

Trata-se de um solo com concentração média de 85% e 87% de areia total, nas profundidades de 15 a 20 cm e de 25 a 30 cm respectivamente, e média de 10% e 12% de argila, nas profundidades de 15 a 20 cm e de 25 a 30 cm respectivamente.

De acordo com esses valores, a camada superficial é arenosa e com textura grossa. Naturalmente, solo com esse tipo de textura apresenta uma densidade entre 1,3 e 1,5 $g.cm^{-3}$ (GONÇALVES, 2002). Os valores médios de densidade aferidos nas áreas testemunhas de cada tratamento apresentaram valores semelhantes ao da literatura e, não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, corroborando com as suas similaridades quanto aos atributos físicos do solo (Tabela 7).

Tabela 7 – Valores médios de densidade aparente do solo, aferidos nas áreas testemunhas dos tratamentos

Profundidade	**Tratamentos**		
	CCV	**CIR1**	**CIR2**
cm	---------- $g.cm^{-3}$ ----------		
5 – 10	1,50 a	1,55 a	1,54 a
15 – 20	1,54 a	1,53 a	1,57 a
25 – 30	1,56 a	1,55 a	1,58 a

Nota: CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2. Médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$)

As similaridades constatadas, tanto no âmbito de comparação entre a área total de colheita e a sua área amostral, como no âmbito de comparação entre os tratamentos, corroboram com a coerência do delineamento experimental e, consequentemente, com a confiabilidade dos resultados calculados após as intervenções da colheita de madeira.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Aspectos gerais da colheita florestal

Com base nos danos nas árvores nativas que foram observados após a colheita na etapa 2, conclui-se que se a colheita de tora tivesse acontecido simultaneamente com a colheita da lenha, o aproveitamento de lenha teria sido bem menor, tanto pela quebra excessiva dos eucaliptos finos, como pela dificuldade de extração dessa madeira após o acúmulo de resíduos florestais das toras.

O estabelecimento de um DAP ≤ 30 cm para a colheita da lenha, que foi definido em comum acordo com o empreiteiro, promoveu uma padronização que facilitou a seleção das árvores a serem cortadas na etapa 1, bem como, contribuiu para o melhor controle experimental.

Na colheita convencional, com exceção da determinação do limite máximo de DAP, os demais critérios técnicos e operacionais foram estabelecidos pela própria equipe de colheita. Por isso, não houve supervisão por parte da coordenação da pesquisa. Nesse contexto, se não tivesse padronizado um limite máximo de DAP, certamente, teria ocorrido o corte de árvores acima do limite estabelecido, principalmente, em situações em que havia árvores superiores obstruindo a passagem do trator.

Na colheita de impacto reduzido (CIR), a demarcação para abertura dos ramais de extração, bem como a própria abertura, não apresentou maiores dificuldades operacionais. Na marcação foi utilizada 1,5 diária em cada faixa dos tratamentos de CIR, a um custo de R$ 120,00 a diária, incluindo os encargos sociais. Para a abertura dos ramais, foram necessárias 6 horas máquina (hm) em cada faixa, a um custo de R$ 140,00.hm^{-1}. Para essa atividade, aproveitou-se o trator da colheita de tora, modelo Valmet 128 (4x4) com lâmina frontal.

No geral, foram extraídos 1312,30 m^3 de madeira, sendo, 343,97 m^3 de lenha e 968,33 m^3 de tora, 26% e 74% respectivamente. A lenha foi extraída numa faixa de comprimento entre 1,0 m e 1,3 m. No caso das toras, houve variação no comprimento, devido aos diferentes padrões de cada fuste. Mas, sempre que possível, as toras foram extraídas com 15,0 m de comprimento.

Nota-se na Tabela 8 uma tendência de maior volume de lenha e de tora extraído nas faixas do CCV e CIR1 em relação ao CIR2. Parte dessa diferença se deve ao fato das faixas de colheita do CCV e CIR1 terem sido maiores que do CIR2. O tamanho de cada faixa de colheita foi estabelecido pelos limites da área de preservação permanente, que contornam as extremidades do talhão.

Os tamanhos das faixas não foram padronizados a fim de se manter o aspecto físico natural do talhão, bem como para reproduzir a situação real de uma intervenção na área para extração de madeira, respeitando-se os limites impostos pela legislação. A diferença dos tamanhos das faixas foi solucionada com o delineamento experimental.

Tabela 8 – Valores absoluto e relativo de madeira extraída nas duas etapas e nos três tratamentos

Etapas	Tratamentos			Total
	CCV (1,53 ha)	**CIR1** (1,53 ha)	**CIR2** (1,35 ha)	
	---------- m^3 (%) ----------			
Etapa 1 (lenha)	108,50 (8,3)	98,00 (7,5)	137,47 (10,5)	343,97 (26,2)
Etapa 2 (tora)	343,97 (26,2)	334,59 (25,5)	289,77 (22,0)	968,33 (73,8)
Total	452,47 (34,5)	432,59 (33,0)	427,47 (32,5)	1312,30 (100,0)

Nota: CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2

4.2 Efeitos da colheita nos atributos físicos do solo

Para efeito de comparação e discussão dos resultados nas avaliações de resistência à penetração e de densidade, utilizou-se como testemunha os valores da classe sem distúrbio superficial no solo, tendo em vista se tratar de um ambiente natural em pleno processo de restauração ambiental.

Ou seja, infere-se que os atributos físicos da classe sem distúrbio promovem condição satisfatória para a regeneração e o desenvolvimento de espécies nativas no sub-bosque do povoamento de eucalipto abandonado.

4.2.1 Distúrbios superficiais

Nota-se na Tabela 9 que houve diferença de área com distúrbios entre os 3 tratamentos, ocorrendo aumento de área com distúrbios superficiais entre as etapas 1 e 2, nos 3 tratamentos.

Tabela 9 – Área média de distúrbio na superfície do solo por tratamento, medida após as colheitas de madeira nas etapas 1 e 2

Classes	Tratamentos					
	CCV	CIR1	CIR2	CCV	CIR1	CIR2
	---------- $m^2.ha^{-1}$ ----------					
	----- etapa 1(colheita de lenha) -----			------ etapa2 (colheita de tora) ------		
Sem Distúrbio	7140 Aa	7316 Aa	7476 Aa	3469 Ab	5363 A a	4153 Aab
Leve	1758 Ba	2172 Ba	2197 Ba	3911 Aa	3486 Aa	4753 Aa
Moderado	748 Ca	405 Cb	291 Cb	1649 Ba	896 Bb	688 Bb
Severo	353 Da	106 Db	34 Db	971 Ba	255 Bb	406 Bb

Nota: CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2. Letras iguais, minúsculas na mesma linha e maiúsculas na mesma coluna, indicam que os valores médios dos tratamentos não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$). Comparações somente na mesma etapa.

Na etapa 1, nos 3 tratamentos constataram-se diferenças significativas em relação às médias de cada classe de distúrbios. Essa aferição mostra que, independente de ser aplicado o método convencional ou de impacto reduzido, a promoção de alterações superficiais é inevitável, causando mudanças significativas em relação à situação original. Entretanto, ressalta-se que nos 3 casos não ocorreram distúrbios em mais de metade da área total.

Comparando-se os 3 tratamentos, não houve diferença significativa em relação ao total de área preservada sem distúrbio e de área com distúrbio leve. Porém, em relação às classes de distúrbios moderado e severo, os tratamentos de

colheita de impacto reduzido diferenciaram-se significativamente em relação à colheita convencional.

Entre os tratamentos de impacto reduzido, o CIR2 não apresentou diferença significativa em relação ao CIR1. Apesar disso, o CIR2 apresentou menor área com distúrbio, tanto moderado quanto severo, com redução relativa de 32% e 72%, respectivamente (Tabela 9).

Ao melhor resultado aferido no CIR2, atribui-se a extração animal como sendo um dos principais fatores. A minimização dos efeitos na superfície do solo com extração animal já foi constatada por Ficklin et al. (1997) e Deal (2002).

Nos dados da Tabela 9, nota-se que na etapa 2, os dois tratamentos de colheita de impacto reduzido diferenciaram-se da colheita convencional, reduzindo significativamente os distúrbios superficiais no solo.

Nos 3 tratamentos houve redução de área preservada sem distúrbio e aumento das demais classes. Essa constatação mostra que, mesmo com os distúrbios já causados na etapa 1, tanto na colheita convencional como na de impacto reduzido, novos distúrbios foram promovidos com a colheita de toras.

Para ilustrar a alteração ocorrida entre a etapa 1 e a etapa 2, foi elaborado um gráfico de área relativa das classes de distúrbios de cada tratamento e em cada etapa (Figura 16).

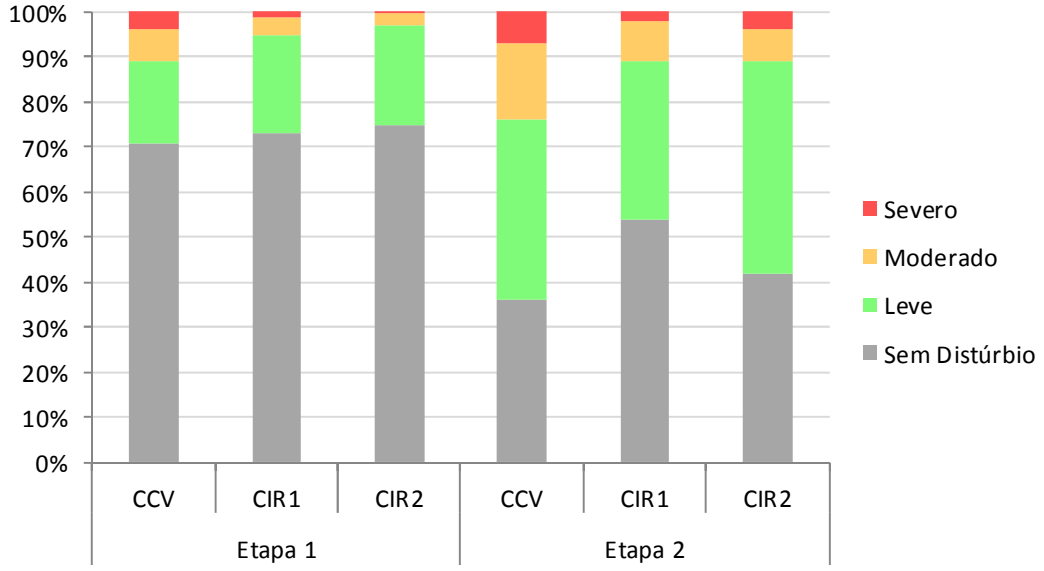

Figura 16 – Representação dos valores relativos das classes de distúrbios no solo de cada tratamento, em cada etapa de colheita de madeira

Observa-se que a colheita de toras apresenta um potencial maior de causar distúrbios na superfície, em relação à colheita de lenha. Isso já era esperado em função das maiores dimensões das árvores remanescentes para a colheita na etapa 2.

O aumento de distúrbio superficial foi causado, principalmente, em função das atividades relacionadas com a extração de madeira e não com o corte. Constatou-se *in loco* que muitas áreas sem distúrbio, remanescentes da etapa 1, foram alteradas pelo maior número de manobras da máquina na etapa 2, para que a mesma conseguisse agarrar a tora e fazer a sua extração.

A Figura 13 mostra nitidamente que entre os 2 tratamentos de colheita de impacto reduzido, no caso do CIR2 as mudanças nas classes de distúrbios foram mais expressivas. A razão disso atribui-se à falta de ramais na etapa 2 que pudessem orientar o operador de máquina durante a extração de toras.

Ou seja, observou-se que no caso do tratamento CIR1, os ramais abertos pela máquina na extração da lenha, contribuíram para a orientação do operador da máquina na etapa 2, pelas quais foram realizadas as manobras necessárias para a extração da tora, sem gerar novos distúrbios. Contudo, a ausência desses ramais no tratamento CIR2, obrigou a máquina a realizar um número maior de manobras no interior do talhão, causando mais distúrbios superficiais do que no CIR1.

Em termos da distribuição, constatou-se que as colheitas de impacto reduzido promoveram uma alteração superficial concentrada, enquanto que a colheita convencional distribui os distúrbios de forma generalizada. Esse efeito de concentração foi maior na etapa 1 e, principalmente, na extração com animal (Figura 17).

Na etapa 2, o efeito de concentração dos distúrbios pela colheita de impacto reduzido foi minimizado em função da maior intensidade de tráfego de máquina no interior do talhão. Essa constatação fica evidente comparando-se as Figuras 17 e 18.

Uma vantagem observada pela concentração dos distúrbios, em relação à distribuição generalizada na faixa de colheita, foi o menor impacto visual. Por sua vez, a redução do impacto visual tem grande contribuição no aspecto social, tendo em vista que as alterações estéticas na natureza são consideradas um dos efeitos de maior destaque da colheita florestal (SEIXAS, 2002).

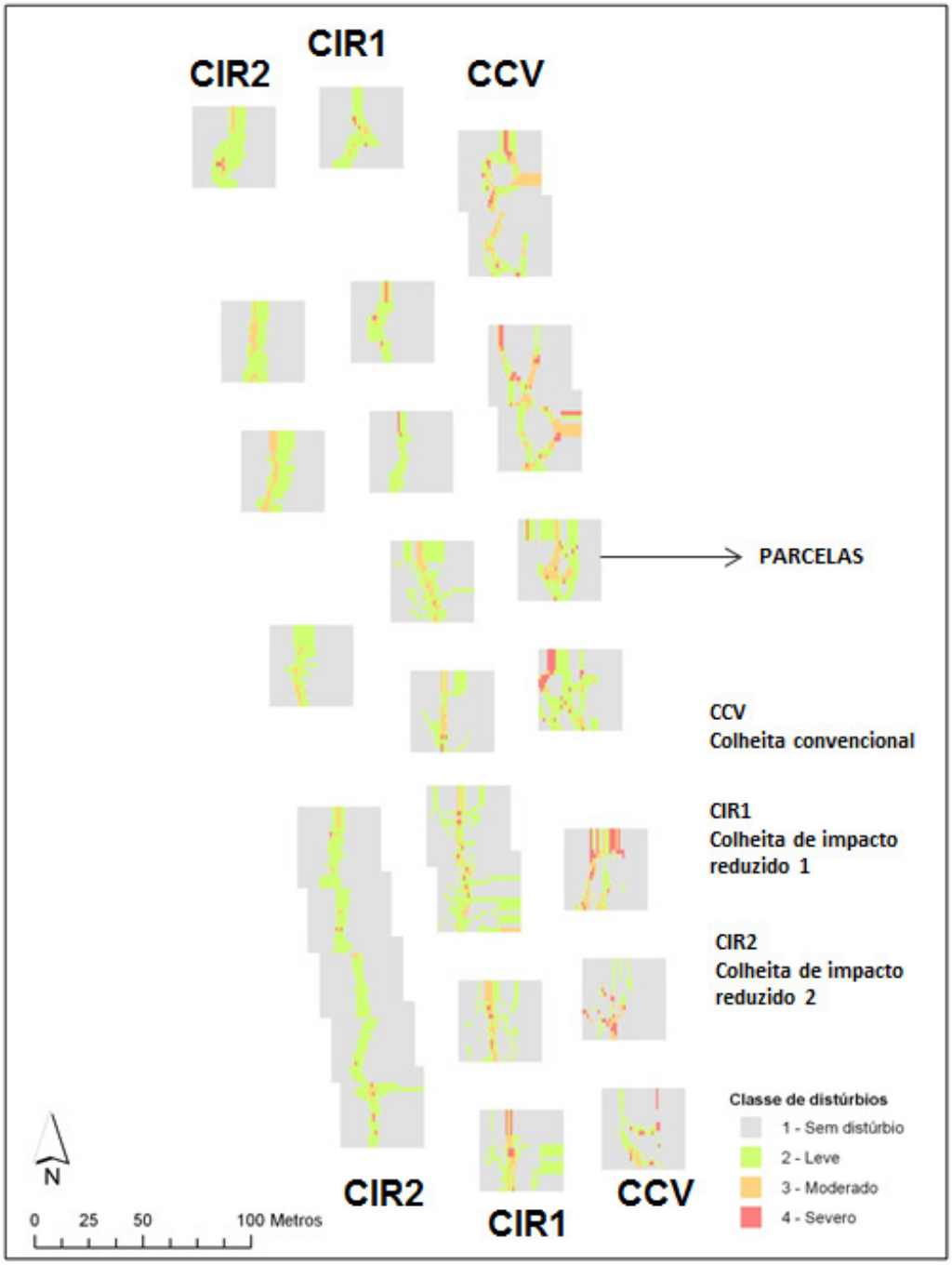

Figura 17 – Distribuição espacial dos distúrbios superficiais no solo, promovidos pela colheita florestal na etapa 1 (colheita de lenha)

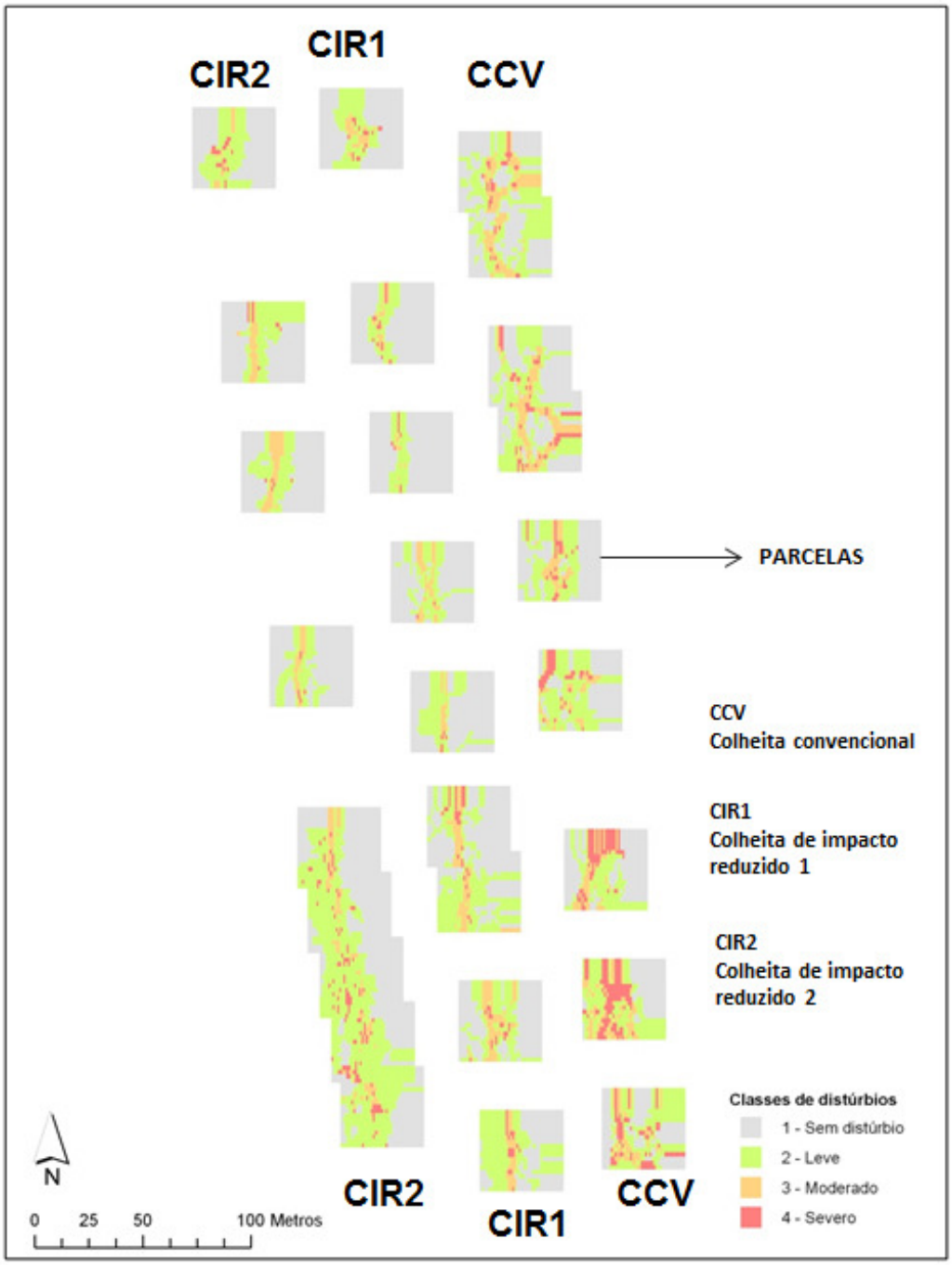

Figura 18 – Distribuição espacial dos distúrbios superficiais no solo, promovidos pela colheita florestal na etapa 2 (colheita de tora)

No sítio desse estudo, a baixa proporção de elementos ligantes entre as partículas do solo, como de matéria orgânica, por exemplo, torna-o muito susceptível ao efeito desagregante das gotas de chuva, bem como, pelo escoamento das enxurradas, o que pode proporcionar o arrastamento de grande quantidade de solo, devido à baixa coesão entre as partículas (GONÇALVES, 2002). Nesse sentido, conclui-se que na colheita florestal devem-se evitar distúrbios das classes moderado e severo, tendo em vista que é fundamental a manutenção da cobertura vegetal no solo.

Segundo Lamprech (1990), em cada m^2 de uma floresta primária e a 1 cm de profundidade na camada superior do solo, já foi encontrada cerca de 70 sementes viáveis de 2 espécies pioneiras. Com base nessa informação, supõe-se que os distúrbios moderados e severos na superfície, tem grande poder de retirada de banco de sementes de espécies colonizadoras.

Nesse contexto, devido à ocorrência de menor área relativa com distúrbio severo e moderado, que removem a camada superior do solo, as colheitas de impacto reduzido também contribuíram para a conservação do banco de sementes da vegetação do sub-bosque, mantendo o seu potencial de resiliência pela regeneração de espécies pioneiras.

No geral, aferiu-se que nas duas etapas, os dois tratamentos com colheita de impacto reduzido apresentaram melhores resultados de distúrbio superficial no solo, diferenciando-se estatisticamente do tratamento com colheita convencional.

4.2.2 Resistência à penetração

As medições de resistência à penetração (RP) da etapa 1 foram realizadas nos meses de junho e setembro de 2011, no CCV e CIR1, respectivamente, e em fevereiro de 2012 no CIR2. Já, as medições da etapa 2 aconteceram nos meses de novembro e dezembro de 2011 no CCV e CIR1, respectivamente, e em maio de 2012 no CIR2.

As comparações de médias de resistência à penetração, da etapa 1, foram realizadas apenas entre os tratamentos CCV e CIR2, devido à constatação de discrepância dos valores do CIR1 em relação aos outros dois tratamentos (Tabela 10).

Tabela 10 – Valores médios de resistência à penetração (MPa) medidos nas diferentes classes de distúrbios superficiais no solo, após a colheita da lenha na etapa 1

Classes de distúrbios	Tratamentos		
	CCV (U % = 7,0)	CIR1 (U % = 4,2)	CIR2 (U % = 7,3)
	---------- MPa ----------		
	---------- Profundidade (0 – 10 cm) ----------		
Sem Distúrbio	1,40 Ab	2,16 Ba	1,2 Ab
Leve	1,46 Ab	2,20 Bab	1,20 Ab
Moderado	1,53 Ab	3,53Aa	1,56 Ab
Severo	1,60 Ab	4,56 Aa	1,56 Ab
	---------- Profundidade (11 – 20 cm) ----------		
Sem Distúrbio	1,86 Ab	4,00 Ba	1,46 Ab
Leve	1,93 Ab	4,40 Ba	1,70 Ab
Moderado	2,43 Ab	7,20 Aa	1,80 Ab
Severo	2,50 Ab	6,70 Aa	1,46 Ab
	---------- Profundidade (21 – 30 cm) ----------		
Sem Distúrbio	1,63 Bb	4,16 Ba	1,53 Bb
Leve	2,03 ABb	4,96 ABa	1,66 ABb
Moderado	2,20 ABb	6,46 ABa	1,73 ABb
Severo	2,10 Ab	7,76 Aa	2,16 Ab
	---------- Profundidade (31 – 40 cm) ----------		
Sem Distúrbio	1,83 Ab	4,30 Ca	1,76 Ab
Leve	1,90 Ab	5,36 BCa	1,76 Ab
Moderado	1,93Ab	6,56 Aa	1,96 Ab
Severo	2,13 Ab	7,26 Aa	1,90 Ab

Nota: CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2; U = teor de água. Letras iguais, minúsculas na mesma linha e maiúsculas na mesma coluna, indicam que os valores médios dos tratamentos não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$). As comparações foram feitas somente na mesma camada de profundidade

O menor teor de água aferido no solo do CIR1 em relação ao do CCV e do CIR2, foi considerado como um dos fatores da discrepância entre os seus valores de resistência à penetração. Foi comprovado por outros pesquisadores, que o teor de água no solo causa influência no valor de resistência à penetração quando se utiliza o penetrômetro (SEIXAS; OLIVEIRA JUNIOR, 2001; VAZ; PRIMAVESI; PATRIZZI; LOSSI, 2002). Uma pequena falta de rigidez na haste do penetrômetro, também foi

considerada como uma possível causa da discrepância nos valores de resistência à penetração. Em razão do cronograma operacional da equipe da colheita, não foi possível adiar as medições no CIR1.

Mas, utilizando-se os valores médios de resistência à penetração do CCV e do CIR2, realizou-se uma comparação entre a colheita convencional e um dos tratamentos de colheita de impacto reduzido, obtendo-se assim um referencial de cada sistema na colheita de lenha (Tabela 11).

Tabela 11 – Valores médios de resistência à penetração (MPa) medidos nas diferentes classes de distúrbios superficiais no solo, após a colheita de lenha na etapa 1

Classes de distúrbios	**Tratamentos**	
	CCV (U % = 7,0)	**CIR2** (U % = 7,3)
	---------- MPa ----------	
	------- Profundidade (0 – 10 cm) --------	
Sem Distúrbio	1,40 Aa	1,20 Aa
Leve	1,46 Aa	1,20 Aa
Moderado	1,53 Aa	1,56 Aa
Severo	1,60 Aa	1,56 Aa
	------ Profundidade (11 – 20 cm) -------	
Sem Distúrbio	1,86 Ba	1,46 Bb
Leve	1,93 ABa	1,70 ABb
Moderado	2,43 ABa	1,80 ABb
Severo	2,50 Aa	2,13 Ab
	------- Profundidade (21 – 30 cm) ------	
Sem Distúrbio	1,63 Ba	1,53 Ba
Leve	2,03 ABa	1,66 ABb
Moderado	2,20 ABa	1,73 ABb
Severo	2,10 Aa	2,16 Ab
	------- Profundidade (31 – 40 cm) ------	
Sem Distúrbio	1,83 Aa	1,76 Aa
Leve	1,90 Aa	1,76 Aa
Moderado	1,93 Aa	1,96 Aa
Severo	2,13 Aa	1,90 Aa

Nota: CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2; U = teor de água. Letras iguais, minúsculas na mesma linha e maiúsculas na mesma coluna, indicam que os valores médios dos tratamentos não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$). As comparações foram realizadas somente na mesma profundidade

Na camada até 10 cm de profundidade do solo, não houve diferença significativa, nem entre os tipos de distúrbios e nem entre tratamentos. Essa constatação evidencia que, nas condições desses sítios, nem a extração mecanizada e nem a extração com animal causaram compactação nessa profundidade.

Os efeitos significativos do aumento de resistência à penetração ocorreram na camada de 10 a 30 cm de profundidade, nos dois tratamentos. Nessa camada do solo, houve diferença significativa entre as classes de distúrbios. Ou seja, os distúrbios aumentaram a resistência à penetração em relação à testemunha.

O CIR2 diferenciou-se estatisticamente do CCV, com valores menores de resistência à penetração. Nesse contexto, pode-se dizer que na camada entre 10 e 30 cm de profundidade a colheita de impacto reduzido com tração animal compactou menos do que a colheita convencional.

Na etapa 2 constatou-se diferença significativa entre as classes de distúrbios superficiais, nas quatro camadas de profundidade. Os maiores valores de RP foram aferidos nas classes moderado e severo, mas não houve diferenciação entre elas. A partir disso, concluiu que essas duas classes podem ser agrupadas como uma única classe de distúrbio, em termos de efeito de compactação no solo (Tabela 12).

A diferença significativa entre os tratamentos ocorreu na camada de 10 a 30 cm de profundidade, assim como constatado na etapa 1.

No geral, o tratamento CIR2 diferenciou-se do CIR1 e do CCV. Essa constatação demonstra que a extração mecanizada de madeira, nas duas etapas, promoveu maior compactação do que a extração animal na etapa 1 associada com extração mecanizada na etapa 2 (Tabela 12).

Tabela 12 – Valores médios de resistência à penetração (MPa) medidos nas diferentes classes de distúrbios superficiais no solo, após a colheita de tora na etapa 2

Classes de distúrbios	Tratamentos		
	CCV (U % = 8,2)	**CIR1** (U % = 7,2)	**CIR2** (U % = 7,3)
	---------- MPa ----------		
	---------- Profundidade (0 – 10 cm) ----------		
Sem Distúrbio	1,03 Cb	1,03 Cb	1,30 Cb
Leve	1,43 Ba	1,43 Ba	1,80 Ba
Moderado	1,93 Aa	1,93 Aa	2,17 Aa
Severo	1,87 ABa	1,83 ABa	1,80 ABa
	---------- Profundidade (11 – 20 cm) ----------		
Sem Distúrbio	1,40 Bb	1,30 Bb	1,40 Cb
Leve	1,67 Bab	1,57 Bb	2,17 Ba
Moderado	3,10 Aab	3,63 Aa	2,97 Ab
Severo	3,20 Aa	3,20 Aa	2,57 ABb
	---------- Profundidade (21 – 30 cm) ----------		
Sem Distúrbio	1,57 Cb	1,70 Cb	1,37 Cb
Leve	2,10 Bab	2,07 Ba	2,00 Bb
Moderado	2,63 Aab	3,47 Aa	2,60 Ab
Severo	2,67 Aab	2,90 Aa	2,37 Ab
	---------- Profundidade (31 – 40 cm) ----------		
Sem Distúrbio	1,73 Cb	1,83 Cb	1,87 Cb
Leve	2,20 Ba	2,27 Ba	2,03 Ba
Moderado	2,53 Aa	2,80 Aa	2,33 Aa
Severo	2,33 ABa	2,37 ABa	2,17 ABa

Nota: CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2; U = teor de água. Letras iguais, minúsculas na mesma linha e maiúsculas na mesma coluna, indicam que os valores médios dos tratamentos não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$). Comparações feitas somente na mesma camada de profundidade

O limite teórico considerado nesse estudo, como índice de cone crítico para o desenvolvimento do sistema radicular da vegetação foi de 3,0 MPa, com uma faixa crítica entre 2,5 a 3,0 MPa, como já vem sendo utilizado por outros pesquisadores, como Seixas e Souza (2007).

Na Figura 19, nota-se que na colheita convencional, as classes de distúrbios severo e moderado atingiram a faixa crítica de índice de cone, tanto na etapa 1 (colheita de lenha) como na etapa 2 (colheita de tora). Na colheita de toras, o valor de resistência à penetração ultrapassou o limite de 3,0 MPa.

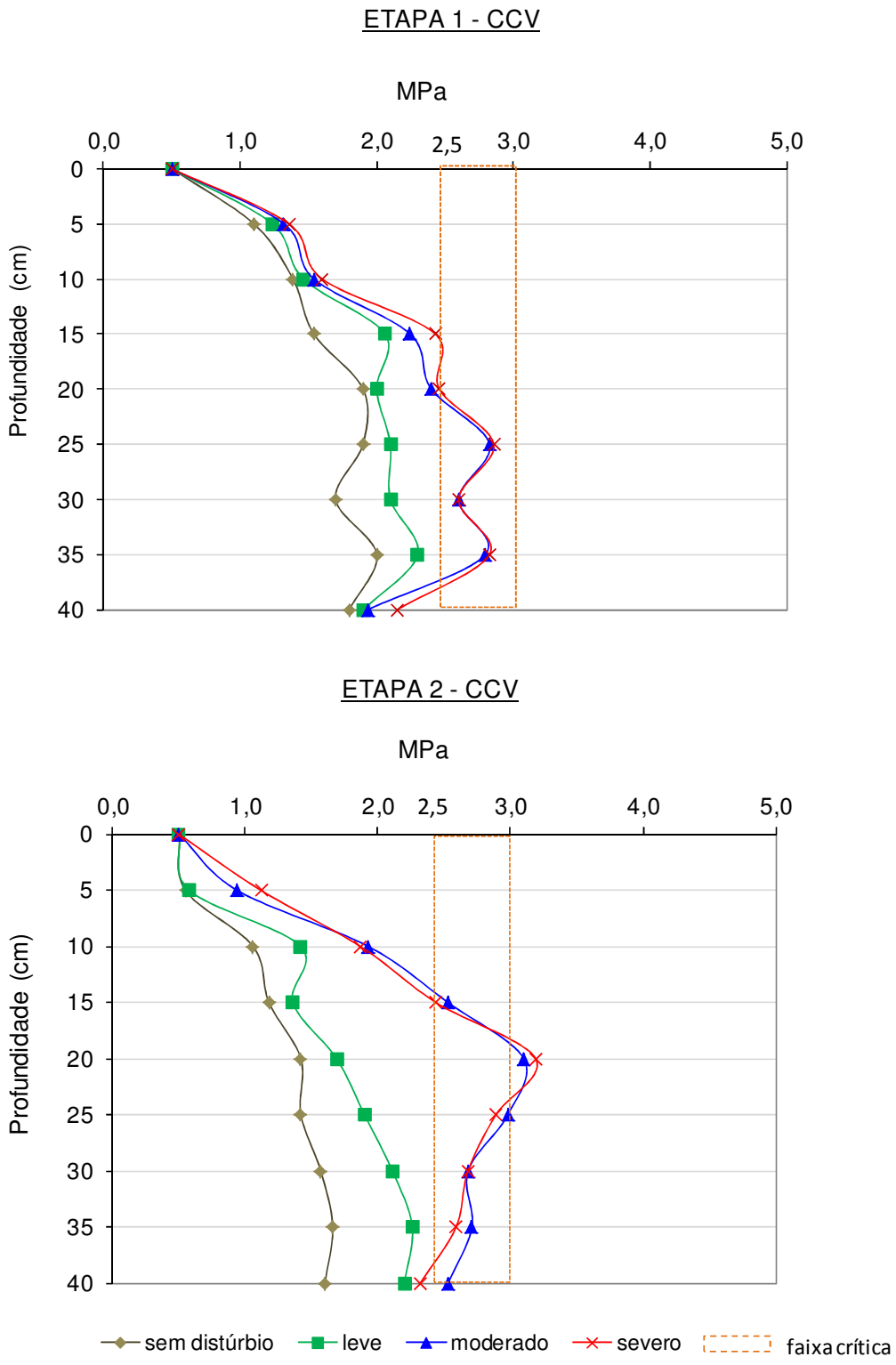

Figura 19 – Índice de cone para o tratamento com colheita convencional (CCV)

Para o tratamento CIR1, não foi gerado o gráfico de índice de cone para a etapa 1 (colheita de lenha), em razão da discrepância ocorrida nos valores médios de RP (Figura 20).

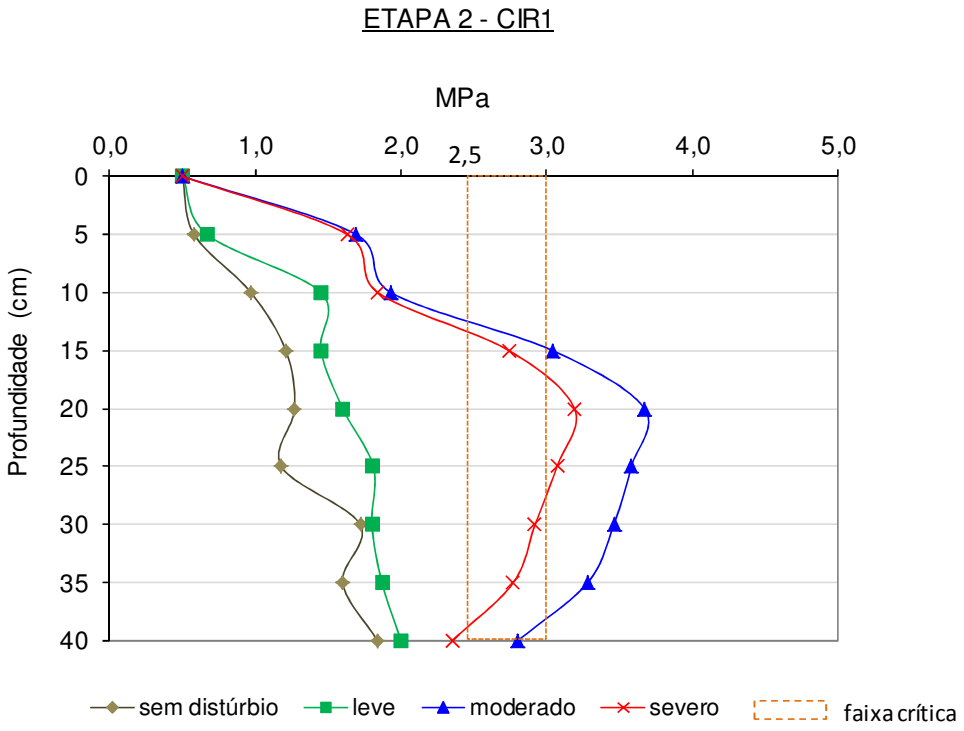

Figura 20 – Índice de cone para o tratamento com colheita de impacto reduzido (CIR1)

Nota-se que a partir de 15 cm de profundidade os valores de RP das classes de distúrbio moderado e severo ultrapassaram o limite crítico, mantendo-se acima até a profundidade de 30 a 35 cm.

Comparando-se o índice de cone entre o CIR1 e o CCV, da etapa 2, constata-se que a colheita de impacto reduzido promoveu maior compactação na extração de toras, principalmente na camada entre 20 e 30 cm de profundidade.

Apesar de ter sido utilizada tração mecânica para extração de madeira nos dois tratamentos e, também, nas duas etapas, atribui-se como causa de maior compactação no CIR1, a concentração do tráfego do trator nos ramais de extração, o que aumentou o número de passadas no mesmo local.

O índice de cone aferido para o tratamento CIR2, na etapa 1, mostra que até 40 cm de profundidade, nenhuma classe de distúrbio apresentou valor de RP próximo à faixa crítica (Figura 21).

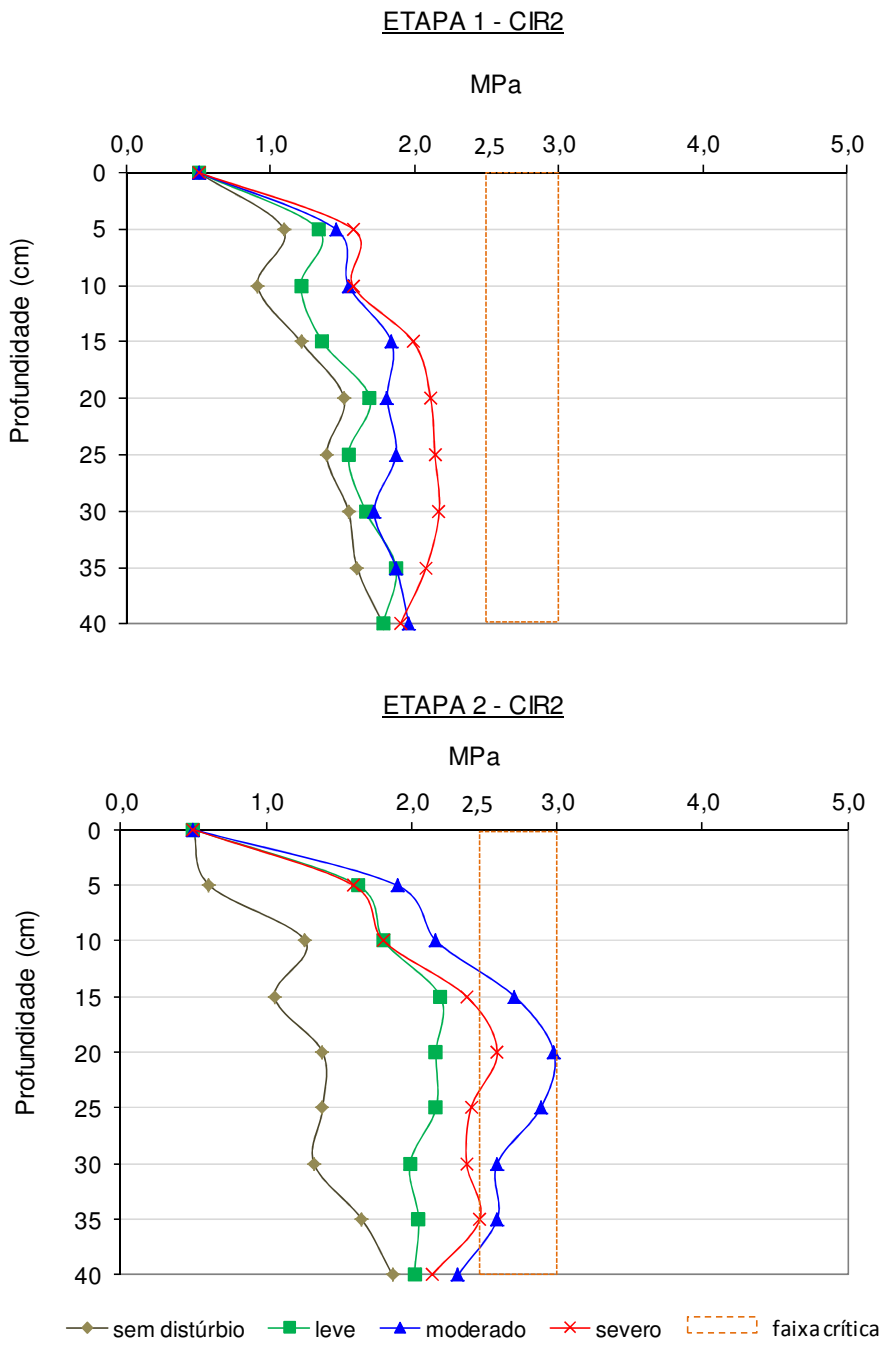

Figura 21 – Índice de cone para o tratamento com colheita de impacto reduzido (CIR2)

Na extração de toras (etapa 2) houve acréscimo do índice de cone no CIR2, nas classes de distúrbios moderado e severo, a ponto de atingir a faixa crítica de RP na camada entre 15 e 35 cm de profundidade.

Comparando-se o índice de cone da etapa 2 do CIR2 com o índice de cone da etapa 1 do CCV, verifica-se que há semelhança no comportamento da compactação no perfil do solo.

Considerando que o índice de cone não havia atingido a faixa crítica na etapa 1 do CIR2, conclui-se que a posterior mecanização na etapa 2, promoveu uma compactação semelhante à etapa 1 do CCV.

Nesse estudo, concluiu-se que o teor de água no solo no momento das medições de RP não influenciou os resultados, tendo em vista que não houve diferença entre os tratamentos que foram comparados em cada etapa.

Vale ressaltar que, na etapa 1 do CIR2, o tráfego do animal também foi concentrado nos ramais de extração, porém não promoveu pressão suficiente para atingir os mesmos índices de compactação medidos no CIR1.

Por isso, consideram-se como principais fatores de compactação e, de diferenciação entre os tratamentos, a extração mecanizada de madeira e a concentração e maior intensidade de tráfego num mesmo local.

Em termos do poder natural do solo de reverter à compactação, não é possível predizer o tempo porque depende da associação de vários fatores ao longo do tempo, como aporte de matéria orgânica no sítio, atividade de microorganismos, entre outros. Entretanto, alguns estudos realizados em solos com características semelhantes ao dessa pesquisa inferiram um tempo de resiliência à compactação entre 4 e 7 anos (DEDECEK, GAVA, 2002; HAMMEL, 1994 apud SILVA et al., 2008).

Para fins de especulação do potencial de persistência da compactação no sítio desse estudo, realizou-se uma medição do índice de cone num carreador antigo, com aproximadamente 40 anos de abandono e que se apresenta com regeneração natural em estágio inicial de desenvolvimento (Figura 22). Para efeito de comparação, mediu-se o mesmo índice em áreas sem distúrbio no interior do talhão (testemunha) e no atual carreador que foi utilizado na extração de madeira dessa pesquisa (Figura 23).

Figura 22 – (A) carreador antigo apresentando regeneração natural; (B) carreador atual que foi utilizado na extração de madeira

Nota-se na Figura 23, que no carreador antigo ainda há indícios de compactação. A partir dessa constatação e, considerando os melhores resultados de índice de cone que foram registrados no tratamento CIR2, pode-se inferir que de uma forma em geral, há maior probabilidade da reversão da compactação do solo nesse sítio ocorrer em menor tempo, comparando-o com o CIR1 e o CCV.

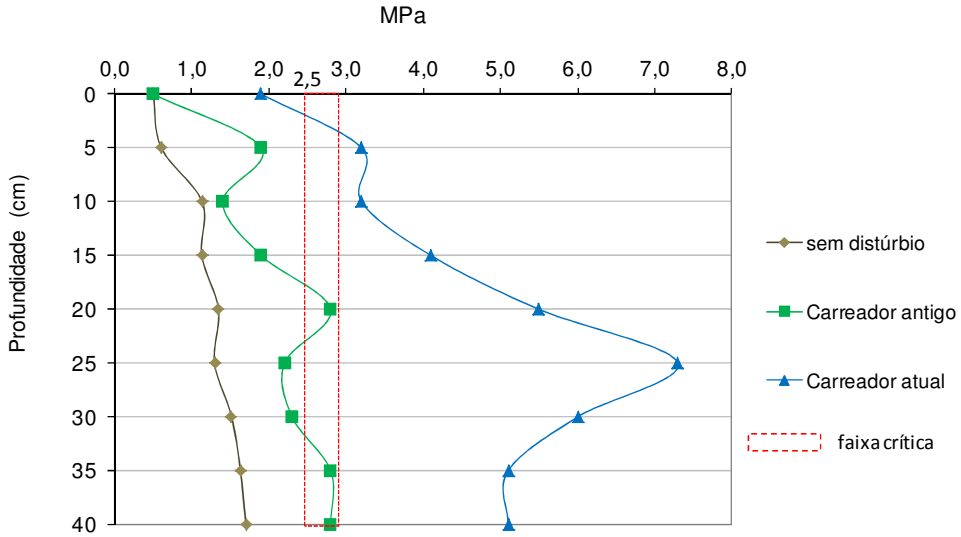

Figura 23 – Índice de cone para a área sem distúrbio (testemunha), para o carreador abandonado com regeneração e para o carreador atual de extração de madeira

No geral, conclui-se que não houve compactação significativa somente na colheita de lenha com extração animal, na qual foi aferido um valor médio máximo de 2,16 MPa.

A colheita convencional promoveu compactação já na extração de lenha, sendo aumentada na colheita de toras, chegando atingir valores médios máximos de 2,5 MPa e 3,2 MPa, na etapa 1 e na etapa 2, respectivamente.

A colheita de impacto reduzido com extração mecanizada foi o tratamento que apresentou maior compactação após a colheita de toras, onde foi aferido valor médio máximo de 3,6 MPa.

Nos três tratamentos, os valores médios máximos de RP foram registrados na camada entre 20 e 30 cm de profundidade. A ocorrência de compactação nessa camada afeta diretamente o potencial de desenvolvimento da vegetação do sub-bosque, tendo em vista que é na camada superficial que se encontra a maior densidade de raízes de algumas espécies arbóreas, principalmente, do grupo das secundárias (GONÇALVES, 2002).

Nos três tratamentos, a compactação crítica foi constatada nas classes de distúrbios moderado e severo. Considerando que o CIR1 e o CIR2 diferenciaram-se significativamente do CCV, em relação à área média dessas duas classes de distúrbios superficiais, conclui-se que a colheita de impacto reduzido promoveu uma compactação relativamente menor em termos de área, quando comparado com a colheita convencional.

4.2.3 Densidade do solo

Nesse estudo, foi adotado como limite teórico de densidade para o desenvolvimento radicular da vegetação do sub-bosque, o aumento relativo entre 15% e 20% sobre a densidade original.

Considerando que a relação entre a densidade e o crescimento da planta é uma associação mais do que uma relação de causa e efeito, recomenda-se a interpretação da densidade no efeito de compactação com base no seu aumento relativo (SEIXAS, 2002). Por isso, optou-se em não utilizar valor absoluto como referência, como o valor recomendado de 1,65 $g.cm^{-3}$ para solos de textura arenosa (REINERT; REICHERT, 2001 apud LOSS, 2009).

A densidade aferida nas áreas sem distúrbio variou de 1,50 $g.cm^{-3}$ na camada superficial até 1,67 $g.cm^{-3}$ nas camadas mais profundas. O aumento de densidade com o aumento da profundidade já era esperado, por se tratar de uma tendência natural nos solos. Esse aumento ocorre, tendo em vista que quanto mais profundo, menor é a concentração de matéria orgânica, menor é a agregação das partículas, menor é o efeito das raízes e maior é o efeito do peso das camadas superiores (BRADY, 1989).

As comparações se deram entre classes de distúrbios e entre tratamentos, porém, sempre na mesma camada de profundidade. Na etapa 1, nos três tratamentos, todas as classes de distúrbios superficiais apresentaram diferença estatística significativa em relação ao valor de densidade da testemunha. Isso ocorreu em todas as profundidades analisadas. Entre os tratamentos, não houve diferença estatística significativa de valores médios de densidade, em nenhuma profundidade, e em nenhuma classe de distúrbios (Tabela 13).

Em termos de aumento relativo, os dois tratamentos com extração mecanizada de madeira foram os que apresentaram valores que atingiram o limite crítico. O CCV apresentou um aumento de 15% e o CIR1 de 16%, na camada entre 25 a 30 cm de profundidade na classe de distúrbio severo. Nesses dois tratamentos, a classe de distúrbio moderado também apresentou aumentos próximos ao limite, 14,0% no CCV e 12,0% no CIR1. O tratamento CIR2 foi o que apresentou o menor aumento relativo em relação à densidade natural do solo, não ultrapassando o valor de 6%.

Tabela 13 – Valores médios e de aumento relativo de densidade nas diferentes classes de distúrbio superficial, após a colheita de lenha na etapa 1

Classes de distúrbios	Tratamentos					
	CCV	CIR1	CIR2	CCV	CIR1	CIR2
	---------- $g.cm^{-3}$ ----------			---------- Δ % ----------		
	---------- Profundidade (5 – 10 cm) ----------					
Sem Distúrbio	1,50 Ba	1,55 Ba	1,54 Ba	-	-	-
Leve	1,58 Aa	1,60 Aa	1,60 Aa	8,0	5,0	6,0
Moderado	1,63 Aa	1,55 Aa	1,57 Aa	13,0	0,0	3,0
Severo	1,61 Aa	1,63 Aa	1,59 Aa	11,0	8,0	5,0
	---------- Profundidade (15 – 20 cm) ----------					
Sem Distúrbio	1,53 Ba	1,51 Ba	1,58 Ba	-	-	-
Leve	1,63 Aa	1,59 Aa	1,59 Aa	10,0	8,0	1,0
Moderado	1,67 Aa	1,63 Aa	1,61 Aa	14,0	12,0	3,0
Severo	1,68 Aa	1,67 Aa	1,61 Aa	15,0	16,0	3,0
	---------- Profundidade (25 – 30 cm) ----------					
Sem Distúrbio	1,56 Ba	1,55 Ba	1,58 Ba	-	-	-
Leve	1,66 Aa	1,66 Aa	1,64 Aa	10,0	11,0	6,0
Moderado	1,62 ABa	1,63 ABa	1,62 ABa	6,0	8,0	4,0
Severo	1,69 Aa	1,63 Aa	1,62 Aa	13,0	8,0	4,0
	---------- Profundidade (35 – 10 cm) ----------					
Sem Distúrbio	1,60 Aa	1,60 Aa	1,61 Aa	-	-	-
Leve	1,68 Aa	1,63 Aa	1,61 Aa	8,0	3,0	0,0
Moderado	1,68 Aa	1,64 Aa	1,64 Aa	8,0	4,0	3,0
Severo	1,68 Aa	1,64 Aa	1,65 Aa	8,0	4,0	4,0

Nota: CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2; Letras iguais, minúsculas na mesma linha e maiúsculas na mesma coluna, indicam que os valores médios dos tratamentos não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$). Comparações de médias somente na mesma camada de profundidade

Na etapa 2, detectou-se uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, na camada de 5 a 10 cm de profundidade. O tratamento CIR1 foi o que apresentou os valores médios mais altos de densidade, diferenciando-se do CIR2 e do CCV, nas classes de distúrbios moderado e severo (Tabela 14).

Tabela 14 – Valores médios e de aumento relativo de densidade nas diferentes classes de distúrbio superficial, após a colheita de tora na etapa 2

Classes de distúrbios	Tratamentos					
	CCV	CIR1	CIR2	CCV	CIR1	CIR2
	---------- $g.cm^{-3}$ ----------			---------- Δ % ----------		
	---------- Profundidade (5 – 10 cm) ----------					
Sem Distúrbio	1,51 Ba	1,54 Ba	1,55 Ba	-	-	-
Leve	1,58 Ab	1,62 Aab	1,63 Aa	7,0	8,0	8,0
Moderado	1,63 Ab	1,67 Aa	1,64 Aab	12,0	13,0	9,0
Severo	1,63 Ab	1,65 Aa	1,66 Aab	12,0	11,0	11,0
	---------- Profundidade (15 – 20 cm) ----------					
Sem Distúrbio	1,54 Ba	1,53 Ba	1,57 Ba	-	-	-
Leve	1,65 Aa	1,66 Aa	1,68 Aa	11,0	13,0	11,0
Moderado	1,65 Aa	1,70 Aa	1,67 Aa	11,0	17,0	10,0
Severo	1,67 Aa	1,65 Aa	1,67 Aa	13,0	12,0	10,0
	---------- Profundidade (25 – 30 cm) ----------					
Sem Distúrbio	1,58 Ba	1,57 Ba	1,60 Ba	-	-	-
Leve	1,68 Aa	1,66 Aa	1,66 Aa	10,0	9,0	6,0
Moderado	1,67 Aa	1,70 Aa	1,70 Aa	9,0	13,0	10,0
Severo	1,66 Aa	1,67 Aa	1,67 Aa	8,0	10,0	7,0
	---------- Profundidade (35 – 40 cm) ----------					
Sem Distúrbio	1,61 Aa	1,67 Aa	1,65 Aa	-	-	-
Leve	1,68 Aa	1,69 Aa	1,67 Aa	7,0	2,0	2,0
Moderado	1,68 Aa	1,72 Aa	1,66 Aa	7,0	5,0	1,0
Severo	1,68 Aa	1,68 Aa	1,67 Aa	7,0	1,0	2,0

Nota: CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2; Letras iguais, minúsculas na mesma linha e maiúsculas na mesma coluna, indicam que os valores médios dos tratamentos não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$). Comparações de médias somente na mesma camada de profundidade

Comparando os valores entre as duas etapas de colheita, Tabela 13 e Tabela 14, nota-se que nos três tratamentos ocorreram aumentos relativos maiores na etapa 2 do que na etapa 1. No caso do CIR2, esse aumento foi ainda mais evidente.

Os maiores aumentos relativos ocorreram na camada de 5 cm até 30 cm de profundidade. O tratamento CIR1 foi o que apresentou os maiores valores, ultrapassando o limite crítico na classe de distúrbio moderado (17%).

Como na etapa 1 também houve aumento relativo até o nível crítico, conclui-se que o tipo de carga, se lenha ou tora, não foi fator determinante para o aumento na densidade do solo.

Tendo em vista que, na etapa 2, foi realizada extração mecanizada nos três tratamentos, conclui-se que a mecanização foi o principal fator de aumento de densidade, sendo o planejamento e o controle das atividades da colheita fatores fundamentais para a minimização dos seus impactos.

A constatação de valores próximos ao limite crítico, sempre associado com a mecanização da colheita, serve de alerta para a necessidade de um bom planejamento do tráfego de máquinas no interior do talhão.

Essa constatação corrobora com a afirmação de Gonçalves (2002), na qual o autor ressalta que entre as diferentes energias que podem causar compactação de solo, entre elas o tráfego de animal, as principais forças são provenientes das máquinas utilizadas na colheita de madeira.

Nas condições desse estudo, entre as atividades a serem melhoradas e controladas, que são consideradas essenciais para minimizar os riscos de efeitos negativos no solo e que podem prejudicar o desenvolvimento da regeneração natural, destacaram-se: o corte direcionado das árvores, tanto para causar menos distúrbios como para facilitar a sua extração; o planejamento do acesso e da saída da máquina no interior do talhão; e o maior controle da intensidade de tráfego num mesmo local.

4.3 Efeitos da colheita na estrutura da vegetação do sub-bosque

Em relação às classes de danos estruturais na vegetação do sub-bosque, nota-se que não houve diferença significativa estatisticamente entre os tratamentos, após a colheita na etapa 1 (Tabela 15).

Tabela 15 – Valores absolutos e médias relativas do número de indivíduos de cada classe de dano estrutural ocorrida na vegetação, após cada etapa de colheita

Classes	Tratamentos					
	CCV	CIR1	CIR2	CCV	CIR1	CIR2
	------ Indivíduos.ha^{-1} ----			---------- % ----------		
	---------- Pré- colheita na etapa 1(lenha) ----------					
Vivas	547	526	593	100	100	100
	---------- Pós- colheita na etapa 1 (lenha) ----------					
Intactas	355	311	400	65 a	60 a	67 a
Danificadas	56	90	93	10 a	17 a	16 a
Mortas/quebradas	136	125	100	25 a	23 a	17 a
	---------- Pré- colheita na etapa 2 (tora) ----------					
Vivas	411	401	493	100	100	100
	---------- Pós- colheita na etapa 2 (tora) ----------					
Intactas	221	264	226	54 ab	66 a	46 b
Danificadas	58	93	140	14 b	23 ab	29 a
Mortas/quebradas	132	44	127	32 a	11 b	25 a

Nota: CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2; Letras minúsculas iguais na mesma linha indicam que os valores dos tratamentos não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro

Na extração da lenha (etapa 1), constatou-se que no CIR2 ocorreu uma mortalidade relativa de árvores menor do que nos tratamentos CCV e CIR1. No CIR2 a taxa de árvores mortas foi de 17%, enquanto que no CCV e no CIR1 as taxas foram 25% e 23%, respectivamente. Porém, constatou-se que não houve diferença estatística entre os sistemas de colheita convencional e de impacto reduzido.

Foi possível observar que no CCV, logo no início da colheita, já haviam sido causados muitos danos estruturais na vegetação e com distribuição espacial generalizada em toda a faixa de extração.

No caso dos dois tratamentos com colheita de impacto reduzido, constatou-se no campo que na fase de abertura mecanizada dos ramais de extração houve uma supressão inevitável de vegetação do sub-bosque. Isso pode ter sido um fato que influenciou nos resultados da etapa 1, aumentado os danos causados na

estrutura da vegetação pelo CIR1 e pelo CIR2, atingindo a similaridade estatística com o CCV.

Considerando que na marcação dos ramais, deu-se prioridade para a preservação de árvores de maior porte, infere-se que o impacto produzido pela mecanização sobre as árvores de menores dimensões pode ter ofuscado, em parte, o efeito da colheita de impacto reduzido em prol da geração de menos danos estruturais.

Vale ressaltar que nos três tratamentos, foram constatados dois fatores que contribuíram para a geração de danos estruturais na vegetação. O primeiro foi a dificuldade operacional encontrada nos sítios com alta densidade de sub-bosque, em que muitas vezes, foi inevitável a geração de danos já no corte das árvores; o segundo, de natureza intrínseca da pesquisa, que foi a restrição de tráfego da máquina nos limites da largura da faixa de colheita (30 m) que, consequentemente, não possibilitou que o operador saísse dessa faixa em busca de caminhos com vegetação menos densa no sub-bosque e de mais fácil deslocamento.

Nesse contexto, estima-se que na etapa 1, as características naturais da vegetação do talhão como, por exemplo, a alta densidade de espécies nativas em determinados sítios, também corroborou com a possível anulação dos efeitos benéficos obtidos pela colheita de impacto reduzido. Esses efeitos foram constatados na etapa 2.

Observando-se os valores relativos na Tabela 15, conclui-se que houve diferença significativa entre a colheita de impacto reduzido e a colheita convencional. Em termos de árvores intactas, a melhor taxa aferida foi no CIR1, 66%. Nesse tratamento também ocorreu menor taxa de mortalidade, 11%.

Comparando-se os dois tratamentos com colheita de impacto reduzido, nota-se que os resultados foram melhores no CIR2. Essa constatação pode ser visualizada na Figura 24.

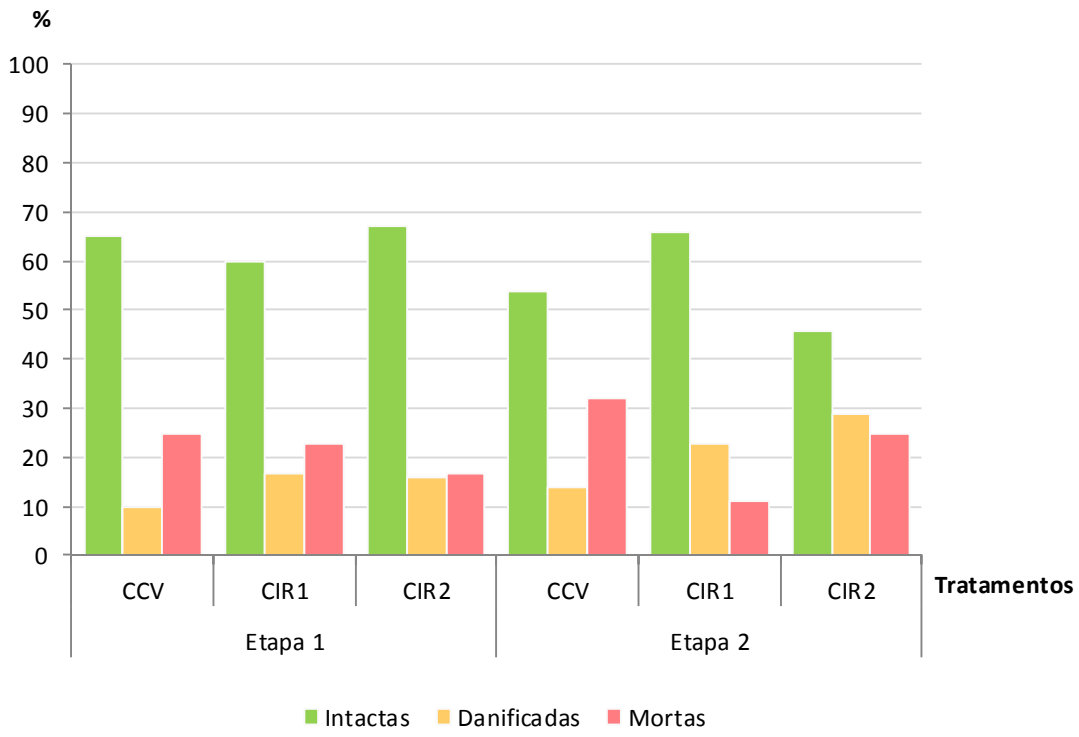

Figura 24 – Percentual de cada classe de danos estruturais em árvores de cada tratamento, nas duas etapas

No CIR1, na etapa 1, houve a abertura de ramais secundários no interior do talhão para a extração de madeira com a mecanização. Isso facilitou a movimentação da máquina na etapa 2 e, consequentemente, diminuiu os danos estruturais causados nas árvores nativas remanescentes na extração de toras.

Já, no CIR2, não foram abertos ramais secundários na etapa 1. Houve apenas a abertura de pequenas trilhas durante a formação de leiras na margem do ramal principal, para facilitar a extração animal.

Em função disso, constatou-se que na área do CIR2 o operador de máquina teve maior dificuldade de movimentação e, consequentemente, acarretou em um número mais acentuado de danos estruturais e de morte de árvores do que no CIR1.

Dessa forma, conclui-se que a abertura de ramais secundários, durante a extração de lenha no CIR1, foi um benefício indireto para minimizar os danos estruturais nas árvores durante a extração de toras.

As taxas de danos aferidas no CCV mostram que, mesmo havendo a abertura de vários ramais na etapa 1, eles não surtiram efeito na etapa 2. Ou seja, a falta de planejamento e controle operacional na colheita convencional acarretou no aumento de danos estruturais durante a extração de toras.

Essas constatações corroboram com a tese de que, o planejamento da extração que se faz pela colheita de impacto reduzido contribui significativamente para a redução de danos estruturais na vegetação do sub-bosque, principalmente na extração de toras.

Na análise geral da extração de madeira do talhão, ou seja, comparando-se a situação original com a situação encontrada após a extração de 100% do eucalipto, nota-se que os dois tratamentos com colheita de impacto reduzido diferenciaram-se estatisticamente da colheita convencional, principalmente na classe de árvores mortas (Tabela 17).

Tabela 17 – Valores absolutos e de médias relativas de cada classe de dano estrutural ocorrido na vegetação do sub-bosque, comparando-se a situação original com a situação após a extração total de eucalipto

Classes	Tratamentos					
	CCV	CIR1	CIR2	CCV	CIR1	CIR2
	----- Indivíduos.ha^{-1} -----			---------- % ----------		
	---------- Inicial ----------					
Vivas	547	526	593	100	100	100
	---------- Final (após a colheita total de eucalipto) ----------					
Intactas	221	264	226	40 a	50 a	38 a
Danificadas	58	93	140	11 b	18 ab	24 a
Mortas/quebradas	268	169	227	49 a	32 b	38 ab

Nota: CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2; Letras minúsculas iguais na mesma linha indicam que os valores dos tratamentos não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$)

Os tratamentos CIR1 e CIR2 apresentaram valores relativos menores de árvores mortas/quebradas, 32% e 38% respectivamente, comparando-os com o CCV que apresentou uma taxa de 49%. A esse resultado positivo, atribuem-se como principais fatores, o planejamento e o controle da extração de madeira que são premissas para a colheita de impacto reduzido.

Na Figura 25, pode-se ter uma melhor compreensão das diferenças ocorridas entre os tratamentos, em termos de danos estruturais na vegetação do sub-bosque, após a extração total de eucalipto.

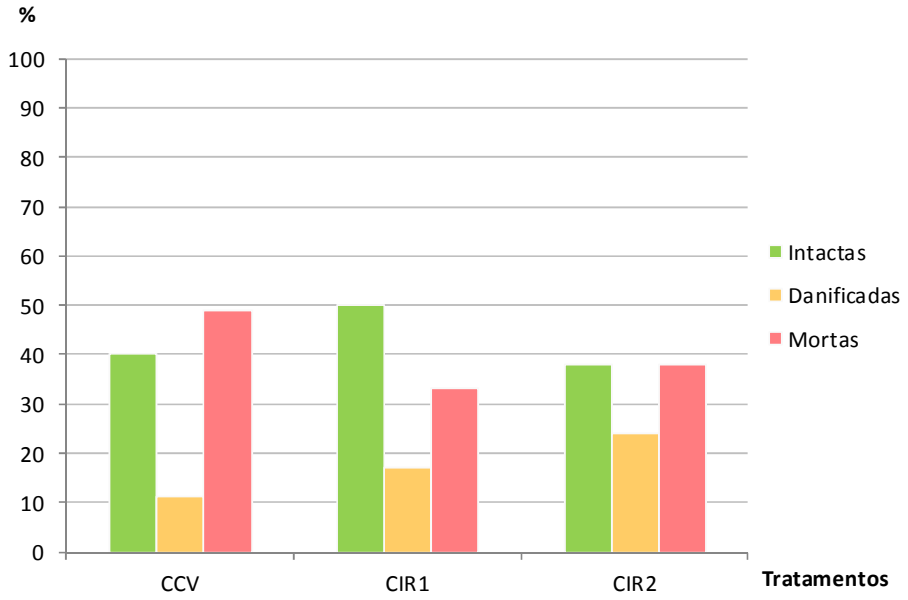

Figura 25 – Percentual de cada classe de danos estruturais em árvores de cada tratamento, ocorridos com a extração de 100% do eucalipto

Comparando-se os valores relativos de área basal residual de cada tratamento, constatou-se que não houve diferença estatística na etapa 1. Porém, na etapa 2, os dois tratamentos de colheita de impacto reduzido diferenciaram-se estatisticamente da colheita convencional (Tabela 18).

Tabela 18 – Valores médios absolutos e relativos de área basal da vegetação nativa, no início da pesquisa e após as etapas 1 e 2

Etapas	Tratamentos		
	CCV	CIR1	CIR2
	---------- $m^2.ha^{-1}$ (%) ----------		
Inicial (pré-colheita)	6,77 (100) Aa	7,21 (100) Aa	7,28 (100) Aa
Etapa 1 (colheita de lenha)	5,60 (83) Ba	6,07 (84) Ba	6,60 (90) ABa
Etapa 2 (colheita de tora)	4,32 (57) Cb	5,50 (74) Ba	5,40 (70) Ba

Nota: CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2; Letras iguais, maiúsculas na mesma coluna e letras minúsculas na mesma linha, indicam que os valores dos tratamentos não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$)

Vale ressaltar que antes da colheita, os tratamentos não se diferenciavam estatisticamente em termos de valor médio de área basal. Com exceção do tratamento CIR2, houve redução significativa estatisticamente no valor médio relativo de área basal entre a situação original e a etapa 1.

No caso do CCV, essa diferença foi detectada entre todas as etapas, mostrando que na colheita convencional, promoveu-se redução significativa de área basal tanto na extração de lenha quanto de tora.

Após a extração de 100% do eucalipto, os dois tratamentos de colheita de impacto reduzido mantiveram taxas de área basal residual maior do que o tratamento com colheita convencional. Os valores do CIR1 e do CIR2 diferenciaram-se estatisticamente do CCV.

Vale ressaltar que, para maior confiabilidade no resultado, efetuou-se o teste de comparação de médias de volume extraído de madeira em cada tratamento, no qual não foi constatada diferença significativa em nenhuma das etapas (Tabela 19).

Tabela 19 – Valores médios de volume extraído de madeira em cada tratamento e em cada etapa da extração do eucalipto e número de árvores vivas remanescentes

Tratamentos	**Volume extraído de eucalipto**	**Árvores nativas vivas após a colheita**
	$m^3.ha^{-1}$	Indivíduos.ha^{-1}
	---------- Etapa 1 (colheita de lenha) ----------	
CCV	70,92 a	411 a
CIR1	75,40 a	401 a
CIR2	101,83 a	493 a
	---------- Etapa 2 (colheita de tora) ----------	
CCV	218,69 a	279 a
CIR1	202,17 a	357 a
CIR2	214,65 a	366 a

Nota: CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2; Letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que os valores dos tratamentos não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$). As comparações foram realizadas somente na mesma etapa

No cômputo de árvores vivas, foi somado o número de árvores intactas e o número de árvores danificadas. A decisão de incluir as árvores danificadas se deu pela constatação *in loco* das condições estruturais satisfatórias para os seus exemplares se manterem vivos.

Na Tabela 19, nota-se que o número de árvores vivas não apresentou diferença estatística entre os tratamentos, em nenhuma das etapas de colheita.

Tendo em vista que o volume de eucalipto nas duas etapas, não se diferenciou estatisticamente entre os tratamentos, foi realizada uma análise de correlação de *Pearson* para averiguar se o volume médio extraído teve correlação com a sobrevivência de árvores no final da colheita (Tabela 20).

Tabela 20 - Análise de correlação de Pearson (r) entre o volume médio de madeira extraído nas diferentes etapas e o valor residual de área basal e a porcentagem de sobrevivência de árvores

Tratamentos	*Eucalyptus saligna*	Espécies nativas	
	Volume	**Área Basal**	**Sobrevivência**
	$m^3.ha^{-1}$	$m^2.ha^{-1}$	%
---------- Etapa 1 (colheita de lenha) ----------			
CCV	70,92	r = 0,3190 p = 0,4026	r = - 0,2461 p = 0,5232
CIR1	75,40	r = 0,1239 p = 0,7507	r = - 0,6976 p = 0,0366
CIR2	101,83	r = - 0,3868 p = 0,3037	r = - 0,8083 p = 0,0083
---------- Etapa 2 (colheita de tora) ----------			
CCV	218,69	r = - 0,6049 p = 0,0843	r = - 0,7253 p = 0,0269
CIR1	202,17	r = - 0,8557 p = 0,0032	r = - 0,5311 p = 0,1412
CIR2	214,65	r = - 0,2702 p = 0,4819	r = - 0,3151 p = 0,4087

Nota: CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2

Nessa análise, constatou-se que na etapa 1, houve correlação inversa significativa nos tratamentos de colheita de impacto reduzido entre o volume de

madeira colhido e a taxa de sobrevivência de árvores. Já, na colheita convencional não houve correlação.

Com base nisso, concluiu-se que na colheita convencional, além do volume de madeira extraído, outros fatores causaram mortalidade de árvores e não foram controlados como, por exemplo, a morte pelo não direcionamento do corte do eucalipto.

No caso dos tratamentos CIR1 e CIR2, o volume de madeira extraído apresentou-se como um dos principais fatores de mortalidade, corroborando com a tese de que outros fatores puderam ser controlados com os sistemas de colheita de impacto reduzido como, por exemplo, a morte de árvores pelo tráfego de máquina.

A situação se inverteu na etapa 2. Ou seja, na colheita convencional houve correlação inversa entre o volume extraído e a taxa de sobrevivência e nos tratamentos com colheita de impacto reduzido não houve essa correlação.

Seguindo a analogia feita para a etapa 1, estima-se que, no caso do CCV, a mortalidade foi causada, principalmente, em função do volume de madeira extraída e não em função de outros fatores.

Já, no caso do CIR1 e do CIR2, além do volume de madeira colhido outros fatores foram determinantes na causa de morte de árvores. A explicação para isso pode ser feita com base na constatação de dificuldade de mecanização durante a extração.

Nota-se na Tabela 21, correlação inversa entre o valor médio de área com distúrbios de superfície e a taxa de sobrevivência de árvores no sub-bosque, que foi constatada por meio da análise de correlação de *Pearson*. Essa análise foi realizada no final da colheita de eucalipto, ou seja, após a extração de 100% de madeira.

No caso da correlação entre áreas preservadas sem distúrbio e a taxa de sobrevivência, houve forte correlação direta ($r=0,6941$; $p<0,0001$). Também, constatou-se correlação positiva com os valores de área basal ($r=0,6059$; $p<0,001$). Isso já era esperado, tendo em vista ser óbvio a obtenção de maior taxa de sobrevivência em sítios com maior percentual de áreas preservadas na condição original.

Tabela 21 - Análise de correlação de Pearson (r) entre o valor de área com distúrbios na superfície do solo e a taxa de área basal e de sobrevivência de árvores nativas

Classes de distúrbios na superfície do solo ($m^2.ha^{-1}$)	**População de Espécies Nativas**	
	Área Basal $m^2.ha^{-1}$	**Sobrevivência** %
Sem distúrbio (4.328,33)	r = 0,6059 p < 0,001	r = 0,6941 p < 0,0001
Leve (4.050,00)	r = - 0,4308 p = 0,0248	r = - 0,4510 p = 0,0182
Severo/moderado (1.621,67)	r = - 0,4313 p = 0,0246	r = - 0,5523 p = 0,0028

O resultado mais relevante dessa análise de correlação, para as conclusões desse estudo, foi a constatação de correlação inversa entre o valor total com distúrbio severo/moderado e a taxa de sobrevivência de árvores. Ou seja, quanto maior a área com distúrbio severo e moderado, menor será a taxa de sobrevivência.

Para essa análise, os valores da classe de distúrbio moderado no solo foram somados com os valores da classe de distúrbio severo. A decisão de somar os valores dessas classes se deu em função da constatação de similaridade entre elas, em termos de resistência à penetração e de densidade. Também, considerou-se que nessas duas classes de distúrbios, houve o mesmo padrão de impacto na vegetação. Ou seja, nas duas classes houve a sua remoção total.

Portanto, a partir dos valores mostrados nas Tabelas 19 e 21 e da comprovação da diferença estatística entre os CIR1 e CIR2 com o CCV em termos da geração de distúrbios severos/moderado no solo (Tabela 9), conclui-se que no final da colheita florestal, a extração por meio das técnicas de impacto reduzido contribuiu para maior sobrevivência de árvores.

Considerando que, em geral, as essências florestais têm grande poder agregante de partículas devido ao sistema radicular denso e ao aporte elevado e regular de matéria orgânica (GONÇALVES, 2002) e, também, pela comprovação de maior área basal residual nos CIR1 e CIR2, pode-se afirmar que a colheita de

impacto reduzido proporcionou um benefício indireto para o poder de resiliência do solo.

Vale ressaltar que, os resultados dessa pesquisa têm contribuído com um estudo sobre os efeitos temporais da colheita florestal na composição florística e fitossociológica da vegetação do sub-bosque.

4.4 Custos e receitas da extração de madeira

Na Tabela 22 apresentam-se os custos de cada atividade, do total da colheita de lenha e de tora e das margens de receita de cada tratamento em função dos produtos extraídos.

Tabela 22 – Valores da produção de lenha e de tora

Produção de madeira	TRATAMENTOS					
	CCV	CIR1	CIR2	CCV	CIR1	CIR2
	---------- R$.m^{-3} ----------					
	--------- Etapa 1 (lenha) ------			---------- Etapa 2 (tora) -------		
Corte	8,57	8,57	8,57	10,00	10,00	10,00
Extração	10,71	10,71	12,29	10,00	10,00	10,00
Transporte	10,00	10,00	10,00	30,00	30,00	30,00
Abertura de ramais (1)	..	0,83	0,83	..	0,83	0,83
Custo da colheita	29,28	30,11	31,69	50,00	50,83	50,83
Custo da árvore em pé (2)	45,71	45,71	45,71	180,00	180,00	180,00
Custo total (3)	74,99	75,82	77,40	230,00	230,83	230,83
Receita da madeira	81,43(4)	81,43(4)	81,43(4)	600,00(5)	600,00(5)	600,00(5)
Receita líquida	6,44	5,61	4,03	370,00	370,00	370,00
Margem de receita	8,5%	7,4%	5,0%	161%	160%	160%

Nota: CCV – colheita Convencional; CIR1 – colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – colheita de Impacto Reduzido 2; Os valores reais de mercado, obtidos no decorrer da cadeia produtiva; Nos custos da colheita já estão inclusos os encargos sociais; (1) valor estimado calculando-se a soma de hm e diárias utilizadas nessa atividade, dividido pelo total de volume de madeira extraída nos 2 tratamentos; (2) valor pago ao produtor rural; (3) custo da colheita mais custo da árvore em pé; (4) receita do empreiteiro da colheita de lenha, posto consumidor final; (5) receita média da serraria com o processamento total da tora (informação do empreiteiro)

É importante ressaltar que os valores de margem de receita se referem ao potencial de lucratividade por parte dos empreiteiros, ou seja, das empresas colhedoras de lenha e de tora. O potencial de receita por parte do produtor rural tem como base o custo da árvore em pé.

As margens de receita na colheita de lenha foram: CCV = 8,5%; CIR1 = 7,4%; e CIR2 = 5,0%. Nessa etapa, já era esperado uma margem de receita menor na colheita de impacto reduzido, visto que houve acréscimo dos custos de abertura de ramais, imposto pelo aluguel da máquina e pela contratação de diárias. Fora os custos envolvidos na abertura dos ramais, esperava-se que o maior rigor operacional imposto pela colheita de impacto reduzido fosse acarretar em custos mais elevados de corte e extração, comparados com a colheita convencional.

Entretanto, conforme informação pessoal do empreiteiro, o rigor operacional dificultou o desenvolvimento apenas no início da colheita, reduzindo um pouco o rendimento. Porém, o planejamento e o controle operacional proporcionaram uma recuperação dos rendimentos no decorrer da colheita, proporcionando um nivelamento nos custos da colheita de impacto reduzido com os valores da colheita convencional.

No caso do CIR2, com base em informações de literatura, esperava-se um custo de extração com animal mais barato do que com a extração mecanizada. Porém, a falta de tradição no uso de tração animal na região do estudo impôs a necessidade de aluguel do cavalo com a carroça, o que pode ter contribuído para o aumento dos custos da extração com animal.

Nota-se que no caso da colheita de lenha não houve prejuízo financeiro em nenhum tratamento. Apesar disso, devido aos baixos valores de margens de receita da extração de lenha, conclui-se que há maior segurança financeira com a colheita de 100% da madeira, principalmente no caso do CIR2. Ou seja, a extração de tora demonstrou ser essencial para maior segurança financeira da colheita florestal.

No caso da tora, praticamente, não houve diferença do custo total da colheita e das margens de receita entre os tratamentos, principalmente, devido ao alto rendimento na produção, tanto na etapa da colheita quanto na etapa de processamento na serraria. Segundo Dal Ponte Filho (2006), o rendimento médio da serraria foi de 52% num estudo com árvores de *Eucalyptus saligna*, com diâmetros acima de 35 cm, de um talhão da Estação Experimental de Itatinga com características semelhantes ao dessa pesquisa.

Considerando a aptidão das áreas abandonadas de eucalipto de se tornaram reservas legais, conclui-se que o aproveitamento econômico da sua madeira poderá ser utilizado como alternativa para agregar valor nas antigas unidades de produção florestal. Vale ressaltar que, para o produtor rural há perspectivas de receitas significativas com a comercialização da árvore em pé, tanto para lenha quanto para tora.

Como não houve prejuízo financeiro nos tratamentos com colheita de impacto reduzido, recomenda-se que as suas técnicas sejam obrigatórias para a extração madeireira em área abandonadas e com regeneração natural.

4.5 Aspectos gerais

Enfim, a análise global dos efeitos dos sistemas de colheitas testados mostra que os níveis críticos de compactação do solo, o maior número de árvores mortas e a menor taxa de área basal remanescente estão diretamente associados com as classes de distúrbios superficial moderado e severo.

Tomando-se como referência os valores totais de distúrbios superficiais na área amostral de cada tratamento, (Tabela 23), conclui-se que a colheita convencional promoveu uma área relativa com impacto ambiental significativamente maior do que os tratamentos com colheita de impacto reduzido.

Tabela 23 – Valor absoluto e relativo da área de cada classe de distúrbio na superfície do solo por tratamento, obtido após a colheita total de madeira

Classes de distúrbios superficiais	Tratamentos		
	CCV	CIR1	CIR2
	---------- m^2 (%) ----------		
Sem Distúrbio	2810 (34,6)	4344 (53,6)	3364 (41,5)
Leve	3168 (39,0)	2824 (34,8)	3850 (47,5)
Severo/moderado (1)	2122 (26,4)	932 (11,6)	886 (11,0)
Total	8100 (100,0)	8100 (100,0)	8100 (100,0)

Nota: CCV – colheita Convencional; CIR1 – colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – colheita de Impacto Reduzido 2; (1) nessa classe foram somados os valores das classes moderado e severo devido as suas similaridades em termos de efeitos sobre os atributos físicos do solo

Gonçalves (2002) afirmou que para avaliar o grau de compactação prejudicial ao desenvolvimento das raízes, deve-se considerar a extensão de área compactada. Nota-se na Tabela 23 que no tratamento CCV foi medido mais do que o dobro de área com distúrbios severos/moderado na superfície em relação aos tratamentos CIR1 e CIR2. A partir disso, conclui-se que o sistema de colheita convencional apresentou um grau de compactação prejudicial ao desenvolvimento da vegetação bem maior do que os sistemas de colheita de impacto reduzido.

Para fins de exemplificação, apresenta-se uma analogia tendo como base a constatação de que as classes de distúrbios superficiais moderado e severo atingiram níveis críticos de resistência à penetração. Assim, comparando os valores da classe de distúrbio severo/moderado da Tabela 23, nota-se que o CCV promoveu, aproximadamente, 2,28 vezes mais do que o CIR1 e 2,39 vezes mais do que o CIR2 de área que atingiram níveis críticos de compactação para o desenvolvimento da vegetação.

Essa diferença significativa de área com distúrbio severo/moderado entre os tratamentos de colheita de impacto reduzido em relação ao da colheita convencional, também beneficiou a vegetação do sub-bosque. Considerando que os distúrbios superficiais moderado e severo promovem a remoção da serapilheira e alterações na camada superficial do solo, é certo afirmar que nos CIR1 e no CIR2 manteve-se maior aporte do banco de sementes das espécies nativas que, por sua vez, é fundamental para a dinâmica da regeneração natural do sub-bosque.

Portanto, nos sistemas de colheita de impacto reduzido conseguiu-se diminuir os efeitos negativos sobre os atributos físicos do solo e estruturais da vegetação nativa.

A partir da constatação de correlação inversa entre o volume de eucalipto e a área basal da vegetação do sub-bosque, pode-se afirmar que a extração do eucalipto promoverá maior aporte de disponibilidade de água, luz e nutrientes para as espécies nativas, favorecendo o desenvolvimento da vegetação natural.

O uso de extração animal, como parte de um sistema de colheita de impacto reduzido, se mostrou viável quando houver extração apenas de lenha e para as regiões onde já existe tradição no uso de animais em colheita florestal.

Para melhor aproveitamento dos recursos madeireiros do talhão, bem como, para não comprometer o planejamento e o controle operacional, não se

recomenda a extração simultânea de lenha e de toras. Ou seja, recomenda-se fazer a colheita de madeira em duas etapas como foi adotado nesse estudo.

A extração de toras foi essencial para maior segurança financeira da colheita florestal, tanto no sistema convencional como nos de impacto reduzido.

Para a sustentabilidade do manejo florestal em áreas abandonadas com regeneração natural no sub-bosque, recomenda-se o uso de sistemas de colheita de impacto reduzido na extração do eucalipto, mesmo ocorrendo impactos nos atributos físicos do solo e estruturais da vegetação.

5 CONCLUSÕES

A geração de distúrbios na superfície do solo é um fato inevitável na extração de madeira. Entretanto, comprovou-se que com os sistemas de colheita de impacto reduzido consegue-se minimizar os distúrbios moderados e severos, a ponto de diferenciá-los do sistema de colheita convencional.

Os sistemas de colheita de impacto reduzido resultaram em maior área remanescente na condição natural ou sem dano e, também, em menor área com nível crítico de compactação do solo para o desenvolvimento das plantas do sub-bosque.

A extração de lenha por meio do sistema de colheita de impacto reduzido utilizando extração animal diferenciou dos sistemas que utilizaram extração mecanizada, tendo em vista que não promoveu aumento de resistência à penetração até os níveis críticos para o desenvolvimento da vegetação.

Os sistemas de colheita de impacto reduzido causaram alterações menores na estrutura da vegetação do sub-bosque em relação ao sistema de colheita convencional, uma vez que resultaram em menor número de árvores mortas e quebradas e em maior valor de área basal remanescente.

Comprovou-se que os sistemas de colheita de impacto reduzido, em relação ao sistema convencional, são melhores alternativas para a extração de lenha e de toras em florestas abandonadas de eucalipto com regeneração natural no sub-bosque, sendo assim, viáveis para o manejo florestal da reserva legal.

A continuidade desse estudo deve ser feita em termos de avaliação temporal dos efeitos causados nas árvores danificadas e, também, das alterações na composição florística e fitossociológica da vegetação do sub-bosque.

REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011**. Brasília, 2012, 150p. Disponível em: <www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>. Acesso em: 29 jul. 2012.

AKAY, A.E.; YILMAZ, M.; TONGYE, F. Impact of mechanized harvesting machines on forest ecosystem: residual stand damage. **Journal of Applied Sciences,** v. 6, p. 2414-2419, 2006.

ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S; SUZUKI, L.E.A.S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa-MG, v.31, p. 617-625, 2007.

AMARAL, P.H.C.; VERÍSSIMO, J.A.O.; BARRETO, P.G.; VIDAL, E.J.S. **Floresta para sempre:** um manual para a produção de madeira na Amazônia. Belém-PA: IMAZON, 1998. 137 p.

ANDRADE, S.C.; SOUZA, A.P.; SILVA, E.; MACHADO, C.C.; LEITE, H.G.; NASCIMENTO, A.G.; MINETTI, L.J. Análise dos principais impactos ambientais decorrentes da colheita e do transporte da madeira em dois comprimentos de tora. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 23, n. 3, p. 327-332, 1997.

BARBOSA, L.M. Florestas Nativas [Editorial]. **Revista Opiniões,** Ribeirão Preto, p. 14, mar-mai. 2007.

BACHA, C.J.C. **Eficácia da política de reserva legal no Brasil**: teoria e evidências econômicas, Passo Fundo, v. 13, n. 25, p.9-27, nov. 2005. Disponível em: <htttp://www.upf.br/cepeac/download/ver_n25_2005_art1.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2010.

BARROS, A.C.; UHL, C. Logging along the Amazon River and estuary: patterns, problems and potential. **Forest Ecology and Management,** Amsterdan**,** v.77, p.87-105, 1995.

BRADY, N.C. **Natureza e Propriedade dos Solos.** Rio de Janeiro, 7 ed. 1989. 898 p.

BRANCALION, P.H.S; RODRIGUES, R.R. Implicação do cumprimento do Código Florestal vigente na redução de areas agrícolas: um estudo de caso da produção canavieira no Estado de São Paulo. **Biota Neotrop,** v. 10, n. 4, p.63-66, out. 2010, Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v10n4/pt/abstract?article+bn01010042010>. Acesso em: 20 jun. 2011.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**. Disponível em: <http://www2.camara.gov.br/legin/fed/lei/2012/lei-12651-25-maio-2012-613076-norma-pl.html>. Acesso em: 23 jul. 2012.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas.** Piracicaba: ESALQ, 1997. 132 p.

CARNEIRO, P.H.M. **Caracterização florística, estrutura e da dinâmica de regeneração de espécies nativas em um povoamento comercial de *Eucalyptus grandis* em Itatinga/SP**., 2002. 131 p. Dissertação (Mestrado na área de Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CEPEA. **Informativo CEPEA Setor Florestal**, Piracicaba: ago. 2011, n. 116, 12 p. Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/florestal/files/2011/08ago.pdf>. Acesso em: 10 out. 2011.

CLATTERBUCK, W.K. **Logging damage to residual trees following comercial harvesting to diferente retention levels in a mature hardwood stan in Tenessee**. Gen. Tech. Rep. SRS-92. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 2006. p. 591-594.

DAL PONTE FILHO, J.L. Censo das árvores remanescentes – determinação do rendimento e produtividade de madeira serrada na estação experimental de ciências florestais de Itatinga – LCF/ESALQ/USP. **Revista Científica Eletrônica De Engenheria Florestal,** Garça, n. 8, ago. 2006. Disponível em: <http://www.revista.inf.br/florestal08/pages/monografias/monografia01.pdf>. Acesso em: 3 dez. 2012.

DEAL, J.A. **Site disturbance and social impacts of animal logging and conventional logging in Appalachia**. Blacksburg, USA, 2002. Disponível em: <http://healingharvestflorestfoundation.org/docs/Joshua%20Deal%20Abstract.doc>. Acesso em: 06 jun. 2012.

DEDECEK, R.A.; GAVA, J.L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. **Revista Árvore,** Viçosa, MG, v.29, n.3, p.383-390, 2005.

DURIGAN, G.; MELO, A.C.G.; CONTIERI, W.A.; NAKATA, H. Regeneração natural da vegetação de cerrado sob florestas plantadas com espécies nativas e exóticas. **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no Oeste Paulista: resultados da cooperação Brasil/Japão.** 2004. p. 349-362. Disponível em: <http://www.iflorestal.sp.gov.br/loja/artigos_pesquisas_em_conservacao/IF-c20.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2012.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

ENCINAS, J.I.; SILVA, G.F.; KISHI, I.T. **Variáveis dendrométricas.** Brasília: Universidade de Brasília, 2002. 102 p.

ENGEL, V.L. Restauração ecológica de florestas tropicais: aliando benefícios ecológicos, econômicos e sociais [Editorial]. **Revista Opiniões,** Ribeirão Preto, mar-mai 2007, p. 11, 2007.

FAO. **Global Forest Resources Assessment 2005:** Progress towards sustainable forest management, Roma, 2005. 170 p. Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ag131e/ag131e06.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2012.

FAO. **State of the World´s Forests (2011).** Roma, 2011. 164p. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/013/i2000e/12000e00.htm>. Acesso em: 14 abr. 2011.
FAO. **Reduced impacto logging in tropical forests:** literature synthesis, analysis and prototype statistical framework. Roma, nov. 2004. 8p. Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/j4290e/j4290e00.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2011.

FENNER, P.T. Tecnologia construída passo-a-passo [Editorial]. **Revista Opiniões,** Ribeirão Preto, dez-fev 2007. <http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=329> . Acesso em: 03 dez. 2012.

FENNER, P.T. Compactação do solo. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita florestal**. Viçosa: UFV, 2008, 2.ed., atual. e ampl. p. 388-409.

FERREIRA, M. A contribuição do setor de sementes do LCF/IPEF para a silvicultura intensiva brasileira. **IPEF**, Piracicaba, jan-dez 1993, n.46, p.8-31. 1993.

FERREIRA, M.M.; DIAS JUNIOR, M.S. **Roteiro de aulas práticas de física do solo.** Lavras: UFLA, 1996. 35 p.

FERREIRA, M.; SANTOS, P.E.T. Melhoramento genético florestal dos *Eucalyptus* no Brasil – breve histórico e perspectivas. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *EUCALYPTUS*, 1997, Salvador. **Anais...** Colombo: EMBRAPA/CNPF, 1997, v.1, p.14-34.

FICKLIIN, F.L.; DWYER, J.P.; CUTTER, B.E.; DRAPER, T. Residual tree damage during selection cuts using two skidding systems in the Missouri Ozarks. In: CENTRAL HARDWOOD CONFERENCE,11., 1997. Columbia, MO, 1997, mar. 1997. Disponível em: <http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/other/gtr_nc188/CHvolume11page036.pdf>. Acesso em : 6 jun. 2012.

FISHER, R.F.; BINKLEY, D. **Ecology and management of forest soils**. 3rd ed New York: John Wiley,., 2000. 489 p.

FOELKEL, C. **Eucalyptus Online Book & Newsletter.** Disponível em : <www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/Pergunta%20681.doc>. Acesso em*:* 10 out. 2009.

FRANCEZ, L.M.B.; CARVALHO, J.O.P.; JARDIM, F.C.SILVA. Mudanças ocorridas na composição florística em decorrência da exploração florestal em uma área de floresta de Terra firme na região de Paragominas, PA. **Acta Amazônica.** v. 37, n.2, p. 219-228, 2007.

GONÇALVES, J.L.M. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J.L.; STAPE, J.L. (Ed.). Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba, SP: **IPEF**, 2002, cap. 1, p. 1-46.

GONÇALVES, J.L.M.; ALVARES, C.A.; GONÇALVES, T.D.; MOREIRA, R.M.; MENDES, J.C.T.; GAVA, J.L. Mapeamento de solos e da produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis,* com uso de sistema de informação geográfica. Piracicaba, SP. **Sciencia Forestalis**,Piracicaba-SP, v. 40, n. 94, p. 187-201, jun. 2012.

GONÇALVES, R.M.G.; LUCA, E.F.; ZANCHETTA, D.; FONTES, M.A.L. Fitossociologia do estrato arbóreo e arbustivo em sub-bosque de talhões de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus maculata/citriodora* na Estação Experimental de Tupi, Piracicaba – SP. **Revista Instituto Florestal,** São Paulo, v. 22, n. 2, p. 259-277, dez. 2010.

JOHNS, J.S.; BARRETO, P.; UHL, C. **Os danos da exploração madeireira com e sem planejamento na Amazônia Oriental.** Belém-PA: Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), n. 16, 1998. 40 p.

HOLMES, T.P.; BLATE, G.M.; ZWEEDE, J.C.; PEREIRA JUNIOR, R.; BARRETO, P.; BOLTZ, F. **Custos e benefícios financeiros da exploração florestal de impacto reduzido em comparação com a exploração convencional na Amazônia Oriental.** 2.ed. Belém: Fundação Floresta Tropical/Instituto Floresta Tropical (IFT), 2004. 68 p.

LAMPRECH, H. **Silvicultura nos Trópicos:** ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas. Eschborn: GTZ, 1990. 343p.

LIMA, J.S.S.; LEITE, A.M.P. Mecanização. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita Florestal.** 2.ed. atual. e ampl. Viçosa: UFV, 2008. p. 43-65.

LEYTON, K. **Dinâmicas de florestas nativas em áreas de expansão de eucalipto no Estado de São Paulo.** 2008. 80p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Planas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 44, n. 1, p. 68-75, jan. 2009.

MACHADO, C.C.; SILVA, E.N.; PEREIRA, R.S. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita Florestal.** 2.ed., atual. e ampl Viçosa: UFV, 2008,. p. 15-41.

MACNAMARA, D.; KAUFMAN, L.A. **Can horses compete with tractors?** Sacramento, CA, n. 95, Jan. 1985. Disponível em: <http://www.fire.ca.gov/resource_mgt/downloads/notes/Note95.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2012.

MALINOVSKI, J.R.; CAMARGO, C.M.S.; MALINOVSKI, R.A.; MALINOVSKI, R.A. Sistemas. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita Florestal.** , 2.ed., atual. e ampl. Viçosa: UFV, 2008. p. 161-184.

MARTINI, A.J. **O plantador de eucaliptos:** a questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade. 2004. 320p. Dissertação (Mestrado na área de História Social) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MEADOWS, J.S. Logging damage to residual trees following partial cutting in a Green Ash-Sugarberry stand in the Mississipi delta. In: GILLESPIE, A.R.; PARKER, G.R.; POPE, P.E.; RINK, G. (Ed.) In: CENTRAL HARDWOOD FOREST CONFERENCE., 9., 1993. Gen. Tech. Rep. St. Paul, MN: Departamento of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, 1993. p. 248-260.

MELLO-IVO, W.M.P.; ROSS, S. Efeito da colheita seletiva de madeira sobre algumas características físicas de um latossolo amarelo sob floresta na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 30, p. 769-776, 2006.

MINETTI, L.J.; OLIVEIRA FILHO, R.F.; PINTO, L.A.A.; SOUZA, A.P.; FIEDLER, N.C. Análise técnica e econômica do corte florestal planejado de floresta tropical úmida de terra-firme na Amazônia Ocidental. **Revista Árvore,** Viçosa-MG, v.24, n.4, p.429-435, 2000.

MOLIN, P.G.; STAPE, J.L. Diferença na alocação de uma reserva legal de critérios ambientais versus uma de critérios técnico-econômicos com o uso de ferramenta de SIG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO,13., 2007. Florianópolis **Anais**... Florianópolis: INPE, 2007. p. 1749-1756.

MORA, A.L.; GARCIA, C.H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: SBS, 2000. 112 p.

NAGHDI, R.; LOTFALIAN, M.; BAGHERI, I.; JALALI, A.M. **Damages of skidder and animal logging to forest soils and natural regeneration.** p. 141-149. 2009. Disponível em: <http://crojfe.sumfak.hr/v30no2/05Naghdi.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2012.

NERI, A.V.; CAMPOS, E.P.; DUARTE, T.G.; MEIRA NETO, J.A.A.M.; SILVA, A.F.; VALENTE, G.E. Regeneração de espécies nativas lenhosas sob plantio de *Eucalyptus* em área de cerrado na Floresta Nacional de Paraopeba, MG. **Acta Botânica Brasilica.** São Paulo, v. 19 p. 369-376, 2005

NETTO, S.P.; BRENA, D.A. **Inventário florestal.** Curitiba: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 1993. 271p.

NOLASCO, A.M.; VIANA, V.M. Problemas e oportunidades para a indústria de processamento primário da caixeta – *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC. **Circular Técnica IPEF,** Piracicaba, n. 202, p. 1-13, abr. 2004

ONOFRE, F.F. **Restauração da Mata Atlântica em antigas unidades de produção florestal com *Eucalyptus saligna* Smith. no Parque das Neblinas, Bertioga, SP**. 2009. 120p. Dissertação (Mestrado na área de Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

ONOFRE, F.F.; ENGEL, V.L.; CASSOLA, H. Regeneração natural de espécies de Mata Atlântica em sub-bosque de *Eucalyptus saligna* Smith. em uma antiga unidade de produção florestal no Parque da Neblinas, Bertioga, SP **Scientia Forestalis,** Piracicaba-SP, v. 38, n. 85, p. 39-52, mar. 2002.

PEREIRA, R.G.; COSTA, N.L.; TOWNSEND, C.R.; ROSSI, L.M.B. Tração animal na redução dos desmatamentos e o aproveitamento de madeira na agricultura familiar em Rondônia. **Circular Técnica.** Porto Velho: EMBRAPA-CPAF Rondônia, 2000. 10 p.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais:** exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba-SP: FEALQ, 2002. 309p.

PINTO, A.C.M.; COUZA, A.L.; SOUZA, A.P.; MACHADO, C.C.; MINETTE, L.J.; VALE, A.B. Análise de danos de colheita de madeira em floresta tropical úmida sob regime de manejo florestal sustentado na Amazônia Ocidental. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 26, n. 4, p. 459-466, 2002.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C,; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.32, p.1805-1816, 2008.

REZENDE, M.L.; VALE, A.B.; SOUZA, A.L.; REIS, M.G.F.; SILVA, A.F.; NEVES, J.C.L. Regeneração natural de espécies florestais nativas em sub-bosque de *Eucalyptus grandis* e em mata secundária no município de Viçosa, Zona da Mata – Minas Gerais, Brasil. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO,1.;SIMPÓSIO NACIONAL,2., DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS,1994. Foz do Iguaçu. **Anais**… Curitiba: FUPEF, 1994. p.409-418.

RIVERO, L.; MAC DONAGH, P.; GARIBALDI, J.; TOMA, T.; CUBBAGE, F. Impacts of conventional and reduced logging on growth and stand composition four years after harvest in a neotropical forest in Misiones, Argentina. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 21-31, mar. 2008.

RODRIGUES, R.R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I. (Org.). **Pacto pela restauração da mata atlântica**: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: Instituto BioAtlântica, 2009. 256p. Disponível em: <http://www.pactomataatlantica.org.br/pdf/referencial-teorico.pdf>. Acesso em: 20 out. 2011.

SABOGAL, C.; SILVA, J.N.M.; ZWEED, J.; PEREIRA JUNIOR, R.; BARRETO, P.; GUERREIRO, C.A. **Exploração de impacto reduzido em operações florestais de terra firme na Amazônia Brasileira**. Belém: EMBRAPA-CIFOR, 2000. 8 p. Disponível em: <http://www.portal.ufra.edu.br/attachments/1026_DIRETRIZES%20T%C3%89CNICAS%20PARA%20EXPLOR%20FLOREST%20DE%20IMPACTO%20REDUZ%20NA%20AMAZ%C3%94NIA%20BRASILEIRA.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2011.

SAPORETTI, A.W.; NETO, J.A.A.M.; ALMADO, R. Fitossociologia de sub-bosque de cerrado em talhão de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no município de Bom Despacho-MG. **Revista Árvore,** Viçosa-MG, v. 27, n. 6, p. 905-910, 2003.

SARTORI, M.S.; POGGIANI, F.; ENGEL, V.L. Regeneração da vegetação arbórea nativa no sub-bosque de um povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith. localizado no Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP: IPEF, n. 62, p. 86-103, dez. 2002.

SEIXAS, F. A colheita florestal e a logística da movimentação da madeira [Editorial]. **Revista Opiniões,** Ribeirão Preto, dez-jan 2007, p. 32, 2012. <http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=330> . Acesso em: 03 dez. 2012.

SEIXAS, F. Efeitos físicos da colheita mecanizada de madeira sobre o solo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L., (Ed). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba, SP: IPEF, 2002. p. 313-350.

SEIXAS, F.; KOURY, C.G.G.; RODRIGUES, F. A. Determinação da área impactada pelo tráfego de Forwarder com uso de GPS. **Scientia Forestalis,** Piracicaba-SP, n.63, p.178-187, jun. 2003.

SEIXAS, F.; MARQUESINI, M. Determinação do esforço físico de trabalhadores na colheita de caixeta (*Tabebuia cassinoides*). **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP, n. 59, p. 145-151, jun. 2001.

SEIXAS, F.; OLIVEIRA JUNIOR, E.D. Compactação do solo devido ao tráfego de máquinas de colheita de madeira. **Scientia Forestalis,** Piracicaba-SP, n.60, p.73-87, dez.2001.

SEIXAS, F.; OLIVEIRA JUNIOR, E.D.; SOUZA, C.R. Efeito da camada de resíduos florestais na compactação do solo causada pelo transporte primário de madeira. **Scientia Forestalis,** Piracicaba-SP, n. 54, p. 9-16, dez.1998.

SEIXAS, F.; SOUZA, C.R. Avaliação e efeito da compactação do solo, devido à freqüência de tráfego, na produção de madeira de eucalipto. **Revista Árvore,** Viçosa-MG, v.31, n. 6, p.1047-1052, 2007.

SESSIONS, J.; HEINRICH, R. Harvesting. In: PANCEL, L. (Ed.). **Tropical Forestry Handbook.** Amman: Germany, Jan. 1993, v. 2, p. 1326-1423.

SHARESTHA, S.P.; LANFORD, B.L. **Utilization and cost for animal logging operations**, Snowshoe, p. 15-81, jul. 2001. Disponível em: <http://www.treesearchlfs.fec.us/pubs/24604/>. Acesso em: 4 jun. 2012.

SILVA, S.R.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; LEITE, F.P. Soil compaction and *eucalyptus* growth in response to forwarder traffic intensity and load. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 32, p. 921-932, 2008.

SILVA, S.R.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; MENDONÇA, E.S. & LEITE, F.P. Alterações do solo influenciadas pelo tráfego e carga de um "Forwarder" nas entrelinhas de uma floresta de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 31, p. 371-377, 2007.

SOARES, C.P.B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A.L. **Dendrometria e inventário florestal.** Viçosa-MG: UFV, 2006. 276p.

SOUSA ARMANDO, D.M.; ROSA, T.C.; SOUSA, H.; SILVA, R.A.; CARVALHO, L.C.S.; GONZAGA, A.P.D.; MACHADO, E.L.M.; COSTA, M.P. Colonização de espécies arbustivo-arbóreas em povoamento de *Eucalyptus* spp., **Floresta e Ambiente,** Lavras-MG**,** n. 18, p. 376-389, 2011.

SOUZA FILHO, P.C.; BECHARA, F.C.; CAMPOS FILHO, E.M.; BARRETTO, K.D. Regeneração natural após diferentes níveis de perturbação em sub-bosque de *Eucalyptus* sp. **Revista Brasileira de Biociências,** Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 96-98, jul. 2007.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de formulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Campinas, v. 15, p. 229-235, 1991.

TAN, K.H. **Environmental soil science**. 2nd .ed. New York: Marcel Dekker, 2000, 452p.

TANAKA, O.K. A utilização de animais em operações de extração florestal. In: SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, 1987. Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR/IUFRO, 1987, p. 118-132.

TMO – EQUIPAMENTOS FLORESTAIS. Transportador florestal TF100 (Mini Skidder). Disponível em: <www.tmo.com.br/produtos.php?id=tf100miniskidder>. Acesso em: 3 ago. 2012.

TUBINI, R. **Comparação entre regeneração de espécies nativas em plantios abandonados de *Eucalyptus saligna* Smith. e em fragmento de floresta ombrófila densa em São Bernardo do Campo/SP**. 2006. 92p. Dissertação (Mestrado na área de Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

VALLE, D.; PHILLIPS, P.; VIDA, E.; SHULZE, M.; GROGAN, J.; SALES, M.; GARDINGEN, P. Adaptation of a spatially explicit individual tree-based growth and yield model and lont-term comparison between reduced-impact and conventional logging in eastern Amazônia, Brazil. **Forest Ecology and Management,** Amsterdan**,** v.243, p.187-198, 2007.

VIANA, V.M; VETTORAZZI, C.A.; ZAKIA, M.J.B; MENDES, J.C.T.; VALENTE, R.O. (Coord.) **Conservação dos recursos hídricos por meio da recuperação e da conservação da cobertura florestal da Bacia do Rio Corumbataí**. Piracicaba: IPEF/SEMAE, 2002. 301 p. Plano Diretor apresentado ao SEMAE, Piracicaba. <http://www.ipef.br/publicacoes/relatorios/plano_diretor_corumbatai.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2010.

VIANI, R.A.G.; DURIGAN, G.; MELO, A.C.G. A regeneração natural sob plantações florestais: desertos verdes ou redutos de biodiversidade? **Ciência Florestal,** Santa Maria-RS**,** v. 20, n. 3, jul-set 2010, p. 533-552. <http://www.bioline.org.br/request?cf10045>. Acesso em: 20 jun. 2011.

VIDAL, E.; VIANA, V.M.; BATISTA, J.L.F. Crescimento de floresta tropical três anos após colheita de madeira com e sem manejo florestal na Amazônia oriental. **Scientia Forestalis,** Piracicaba-SP, n. 61, p. 133-143, jun. 2002

ZAKIA, M.J.B. Estamos no caminho [Editorial]. **Revista Opiniões,** Ribeirão Preto, jun-ago 2012, p. 32, 2012. <http://www.revistaopinioes.com.br/cp/edicao_materias.php?id=42>. Acesso em: 05 ago. 2012.

WANG, L. **Environmentally sound timber extracting techniques for small tree harvesting.** Toronto, jul. 1999. Disponível em: <http://www.treesearchs.fs.fed.us/pubs/1545>. Acesso em: 5 jun. 2012.