

Fonte:

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7890043/mod_resource/c](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7890043/mod_resource/content/1/LCF0683-)
[ontent/1/LCF0683-](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7890043/mod_resource/content/1/LCF0683-)

[Colheita%20e%20Transporte%20de%20Madeira.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7890043/mod_resource/content/1/LCF0683-Colheita%20e%20Transporte%20de%20Madeira.pdf)



ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL

Notas de Aula

**Fernando Seixas
Débora R. Camilo**

**ESALQ/USP
2008**



ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL

Notas de Aula

**Fernando Seixas
Débora R. Camilo**

**ESALQ/USP
2008**



SUMÁRIO

Capítulo I. Colheita Florestal	5
1. Introdução	5
2. Sistemas de colheita de madeira	8
3. Etapas da operação de colheita de madeira	12
4. A evolução das operações de colheita de madeira	13
4.1. Escandinávia	13
4.2. América do Norte	15
5. Planejamento da colheita de madeira	17
5.1. Planejamento	18
5.2. Planejamento detalhado	24
5.3. Dados necessários para o planejamento da colheita de madeira	25
5.4. Um exemplo de planejamento para arraste de madeira	27
5.5 Estimativa dos custos de colheita	28
6. Fatores que influenciam a colheita de madeira	29
7. Principais efeitos da colheita	32
8. Comentários gerais	35
9. Bibliografia	36
Capítulo II. Efeitos da Colheita Florestal	39
1. Introdução	39
2. Compactação do solo	39
2.1. Indicadores da compactação do solo	40
2.2. Fatores influenciando a compactação	42
3. Efeitos da compactação	53
3.1. Efeitos da compactação nas propriedades físicas do solo	53
3.2. As conseqüências da compactação no crescimento da floresta	54
3.2.1. Crescimento do sistema radicular	54
3.2.2. Crescimento da parte aérea	55
4. Medidas atenuantes contra a compactação do solo	57
5. Utilização de óleos biodegradáveis	60
6. Considerações	61
7. Bibliografia	63
Capítulo III. Ergonomia – Estudo do Trabalho Florestal	67
1. Introdução	67
2. Aspectos fisiológicos do trabalho	69
2.1. Métodos mais comuns de medição de carga de trabalho	71
2.2. Pausas	73
2.3. Exigências nutricionais	73
3. Estudo do trabalho e de tempo	74
3.1. Estudo do trabalho	74
3.2. Estudo de tempo	76
3.2.1. Planejando o estudo de tempo	76



3.2.2. Realizando o estudo de tempo	78
3.2.3. Avaliação dos resultados	80
4. Bibliografia	83
Capítulo IV. Colheita – Equipamentos de corte mecanizado	84
1. Introdução	84
2. Equipamentos de corte mecanizado	85
2.1. Cortador-acumulador	86
2.2. Colhedora (harvester)	90
2.3. Harwarder	93
2.4. Slingshot	96
3. Características do corte mecanizado	96
4. Bibliografia	97
Capítulo V. Motosserras: Técnicas de Uso e Segurança	98
1. Introdução	98
2. Aspectos ergonômicos do uso de motosserras	100
3. Equipamentos de proteção individual (EPI's)	103
4. Nutrição	105
5. Regras básicas no uso de motosserra	106
5.1. Partida da motosserra	106
5.2. Regras gerais	107
6. Processo básico de corte de árvores	109
6.1. Preparação para o corte de árvores	109
6.2. Corte de árvores pequenas	110
6.3. Precauções ao se fazer a “boca” e o corte de queda	111
6.4. Corte de árvores maiores	112
6.5. Corte de árvores inclinadas	113
7. Desrama	114
7.1. Regras básicas	114
7.2. Desrama de coníferas pequenas ou médias	115
7.3. Desrama de árvores grandes	116
8. Toragem	117
9. Formação profissional de operadores de motosserra	120
10. Bibliografia	120
ANEXO 1. Motosserras NR 12 – Máquinas e Equipamentos	121
Capítulo VI. Extração	123
1. Introdução	123
2. Fatores de influência	124
3. Sistemas de transporte primário	128
3.1. Transporte primário manual	128
3.2. Transporte primário animal	129
3.3. Extração mecanizada com skidder	131
3.3.1. Tipos de skidder	132
3.3.2. Movimentação do trator florestal arrastador (Skidder)	137
3.4. Trator florestal auto-carregável (Fowarder)	143
3.4.1. Carregador hidráulico (Grua)	144



3.4.2. Cálculo do rendimento operacional	147
3.4.3. Sistema acessório de suspensão de carga em forwarder	149
3.5. Considerações gerais sobre tratores florestais	151
3.6. Trator agrícola mais carreta e grua	153
3.7. Trator agrícola equipado com guincho arrastador	154
3.8. Trator com “berço”	154
3.9. Calhas	155
3.10. Extração por cabos aéreos	156
3.11. Extração por helicópteros	158
4. Bibliografia	159
Capítulo VII. Planificação de Sistemas de Colheita	162
1. Introdução	162
2. Corte raso	162
3. Corte seletivo (Desbaste)	166
4. Bibliografia	167
Capítulo VIII. Descascamento	168
1. Introdução	168
2. Locais de descascamento	169
2.1. No campo	169
2.2. Pátio da fábrica	171
2.3. Pátio intermediário de processamento	171
3. Fatores que influenciam o descascamento	171
4. Tipos de descascadores	174
5. Produção de cavacos sem casca no campo	178
5.1. Exemplo canadense	182
5.2. Transporte de cavacos	185
6. Bibliografia	188
Capítulo IX. Determinação do Custo Operacional de Máquinas	191
1. Introdução	191
2. Classificação dos custos	191
3. Definições	191
4. Custos fixos	192
4.1. Depreciação	192
4.2. Juros	195
4.3. Seguro	196
5. Custos variáveis	196
5.1. Combustível	196
5.2. Lubrificantes	197
5.3. Consertos e manutenção	198
5.4. Custo de pneus para caminhões e reboques	199
6. Custo de mão-de-obra	201
7. Custo de administração	201
8. Bibliografia	201
Capítulo X. Transporte Principal de Madeira	202
1. Introdução	202



2. A escolha do modal	205
2.1. Infra-estrutura de transporte (COPPEAD/CNT)	209
2.2. Consumo energético	211
3. Principais fatores afetando a eficiência do transporte de cargas no Brasil	212
4. Veículos utilizados no transporte de madeira e a “Lei da Balança”	216
5. Parâmetros técnicos de desempenho dos caminhões	222
6. Uso de balanças durante a operação de carregamento	224
7. O sistema CTI (“Central Tire Inflation”)	226
8. Terceirização do transporte	230
9. Transporte de madeira por ferrovias	231
10. Transporte de madeira por via fluvial	234
11. Considerações	238
12. Bibliografia	239



CAPÍTULO I. COLHEITA FLORESTAL

1. Introdução

A importância do setor florestal brasileiro reflete-se principalmente na sua contribuição de 3,5% do PIB do país em 2005, um total de US\$ 796 bilhões, 8,4% das exportações, 2,5 milhões de empregos diretos e mais 4,0 milhões de empregos indiretos. Da área total de 851 milhões de hectares, o Brasil conta atualmente com 477,7 milhões de florestas naturais e 5,6 milhões de florestas plantadas, as quais ocupam apenas 0,65% do território nacional e 1% do solo agropecuário. As principais espécies plantadas são o eucalipto, com 3,4 milhões de ha, pinus, com mais 1,8 milhão de ha, e 326 mil ha de outras espécies, como acácia-negra, gmelina, pópulus, seringueira, teca e araucária. Da produção total brasileira de madeira em toras de 2005 oriunda de florestas plantadas (110,6 milhões de m³), cerca de 54,4% destinaram-se à fabricação de celulose e papel e 45,6% para outras finalidades, como fabricação de móveis, construção civil, etc. (SBS, 2006). Acredita-se que esse montante represente 37% do consumo anual de madeira no Brasil, estimado em cerca de 300 milhões de m³ (LEITE, 2003). A partir de todos esses dados pode-se avaliar o papel de uma operação de colheita racional e eficiente que não esgote os nossos recursos florestais e se torne uma atividade economicamente rentável.

A colheita florestal pode ser definida como um conjunto de operações efetuadas no maciço florestal, que visa preparar e extrair a madeira até o local de transporte, fazendo-se uso de técnicas e padrões estabelecidos, com a finalidade de transformá-la em produto final. A colheita, parte mais importante do ponto de vista técnico-econômico, é composta pelas etapas de corte (derrubada, desgalhamento e processamento ou traçamento/toragem), descascamento, quando executado no campo, extração e carregamento (MACHADO e LOPES, 2002).

As atividades de colheita estão englobadas em um contexto florestal mais amplo que pode começar desde a implantação da floresta, no caso de plantações comerciais, até a relação existente da floresta com o ecossistema e as possíveis conseqüências da sua exploração, passando também pelo seu envolvimento social direto em termos de fonte de emprego.



Assim sendo, o profissional envolvido na colheita de madeira não deve preocupar-se unicamente com os aspectos técnicos e econômicos da sua atividade, mas possuir conhecimentos suficientes para minimizar ao máximo os danos que certamente ocorrerão ao ambiente e facilitar a regeneração do povoamento ou futuras implantações florestais. O profissional deve atentar para uma tomada de decisão sob o ponto de vista sistêmico, ou seja, analisar o efeito de suas ações.

No Brasil, em virtude da sua extensão e diversidades regionais, existem diferentes estágios de desenvolvimento tecnológico no processo de colheita, o que muitas vezes dificulta o seu aperfeiçoamento e a mecanização dessas atividades, ou seja, a mudança de operações de trabalho manual intensivo para situações de um maior investimento financeiro na aquisição de máquinas. Em alguns casos, a existência de mão-de-obra abundante e barata limita o investimento em mecanização, inicialmente sempre maior, impede que novas técnicas sejam estudadas e que haja ganhos significativos nos rendimentos operacionais, além de uma maior eficiência e regularidade no abastecimento industrial.

Em países mais industrializados e com maior tradição no setor florestal, a diminuição e o encarecimento da mão-de-obra e o valor mais alto da madeira explorada, quando comparado com os nossos plantios comerciais, levaram à utilização de equipamentos de alta tecnologia com pequena interferência da mão-de-obra, atingindo elevados índices de mecanização e produtividade nas atividades de colheita de madeira. No entanto, a introdução de novos equipamentos não é um evento rápido, implicando em uma série de alterações nos sistemas de trabalho, dimensionamento de equipes, treinamento de pessoal e, muito importante, dependendo da aceitação do novo produto por parte do mercado consumidor. A Figura 1 ilustra as tendências de mecanização florestal na Suécia e a evolução da produtividade quando avaliada em termos da mão-de-obra empregada nas operações de colheita detalhando uma redução na necessidade de mão-de-obra de 21 milhões de homens.dias em 1950 para 5 milhões em 1980.

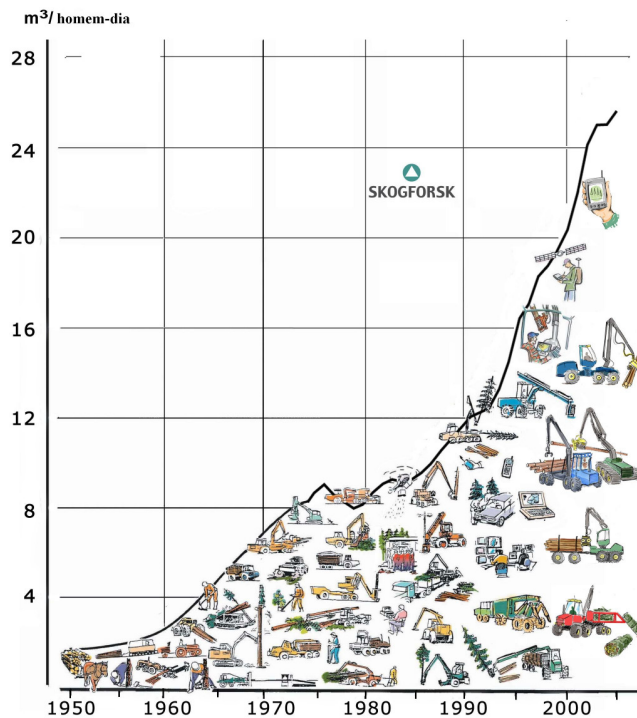


Figura 1. Evolução da demanda e produtividade da mão-de-obra no setor florestal sueco (THOR, 2008).

Apesar da maior eficiência das operações florestais, esse processo resultou em sérios problemas sociais causados pelo desemprego, mas ao mesmo tempo proporcionou melhores condições de trabalho ao colocar o indivíduo mais bem protegido em cabines climatizadas e transferir o trabalho pesado para as máquinas. Outro aspecto foi a substituição da percepção humana pelo uso em maior escala de computadores, sensores, foto-células etc., o que melhorou a eficiência e qualidade das operações.

Com certa defasagem, um processo semelhante também ocorreu no setor florestal brasileiro, iniciando-se na década de 60 com a utilização da motosserra no corte de árvores. A extração era feita basicamente com trabalho animal ou humano, tratores agrícolas adaptados e caminhões. Na década de 70 surgiram os primeiros “feller-bunchers”, máquinas que realizam o corte e empilhamento de árvores, “skidders”, trator florestal articulado utilizado no arraste de toras, e “forwarders”, tratores florestais auto-carregáveis, iniciando-se um processo de mecanização com máquinas tipicamente de uso florestal. O “harvester”, colhedora florestal responsável pelas operações de corte, desgalhamento, toragem e descascamento, começou a ser utilizado experimentalmente na segunda metade da década de 80, ocorrendo inclusive uma tentativa mal-sucedida de fabricação nacional. Com a abertura do mercado à importação de máquinas no início dos anos 90, a mecanização florestal sofreu um forte impulso, registrando-se a chegada de máquinas de última geração de fabricantes da América do Norte e Escandinávia (MALINOVSKI e MALINOVSKI, 1998).



Um levantamento apresentado pelo Eng. Lonard S. Santos, no XI Seminário de Atualização sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal, realizado no ano de 2000 em Curitiba, quantificou o número de máquinas florestais comercializadas no Brasil durante a década de 90:

• Auto-carregável (trator agrícola + carreta) e mini-skidder:	302 unidades
• Carregador florestal e escavadora com garra:	1435 unidades
• Feller-buncher:	45 unidades
• Skidder:	105 unidades
• Harvester:	129 unidades
• Forwarder:	191 unidades

Esse processo de mecanização, ocorrido nas grandes empresas florestais, implicou na redução do mercado de trabalho, mas, em compensação, resultou em redução significativa nos custos de várias empresas. Como exemplos, a Duratex conseguiu uma redução de 6,7% no custo de produção e de 83,1% na quantidade de mão de obra empregada na colheita (EQUIPE TÉCNICA DA DURATEX, 1999). A Champion Papel e Celulose Ltda. obteve uma redução de 42% no custo final da madeira e de 60% no uso de mão de obra (FREITAS e ANTIQUEIRA, 1993) e a Votorantim Celulose e Papel reduziu em R\$ 4,50 o custo final do m³ de madeira posto fábrica (SALMERON e RIBEIRO, 1999).

Apesar da inevitável redução do número de vagas, a mecanização proporcionou uma melhoria significativa das condições ergonômicas do trabalho florestal, aumentando o bem-estar, a saúde, a segurança e a produtividade do operador, com reflexos inclusive quanto a ganhos salariais. Logicamente, novos problemas surgiram em decorrência de ruído, vibração, trabalho noturno, esforço mental, lesões por esforços repetitivos, sobrecarga de trabalho, fadiga, isolamento etc. Mesmo assim, trata-se de um processo irreversível e que ajudou o Brasil a se tornar um dos destaques no mercado mundial de produtos florestais.

2. Sistemas de colheita de madeira

Sistema é um conjunto de operações que podem ser realizadas em um só local ou locais distintos e que devem estar perfeitamente integradas entre si, de modo a permitir um fluxo constante de madeira, evitando-se pontos de estrangulamento e levando os equipamentos a sua máxima utilização. De maneira geral, todos os componentes de um sistema devem contribuir para a realização de um objetivo comum, sendo necessária a existência de uma hierarquia dentro do sistema para assegurar a coordenação das atividades e possibilitar a especialização dos componentes dos sistemas. Devem ser ressaltados dois aspectos:



a) Nem sempre a melhor solução individual é a melhor solução para o conjunto como um todo.

Em virtude da inter-relação existente, o aperfeiçoamento de uma determinada operação como, por exemplo, um aumento na produtividade, pode ocasionar para a etapa subsequente um acúmulo desordenado de serviço que não poderá ser cumprido a tempo, gerando falhas no sistema. Ou mesmo uma etapa superdimensionada mas que não receba madeira suficiente das etapas anteriores, em virtude das mesmas não estarem estruturadas para aquele volume de madeira requerido, o que representará um investimento perdido em máquinas e planejamento.

b) O sistema deve ser analisado em termos de custos totais.

Mesmo um alto investimento localizado em um único estágio do sistema não deve ser considerado como limitante, desde que resulte em um aumento de produtividade, com o conseqüente aumento nos ganhos com a madeira produzida a mais suplantando os gastos efetuados.

A principal classificação utilizada atualmente, inclusive internacionalmente, em relação às operações envolvidas na colheita de madeira baseia-se no comprimento e processamento da madeira;

Sistemas de toras curtas (“Short wood”, “log-length” ou “cut-to-length”)

São aqueles em que todas as operações são feitas no canteiro de corte, com a madeira sendo preparada em toras de 1 a 6 m de comprimento para o transporte primário. Para que se possa mecanizar um sistema de toras curtas é fundamental que o terreno permita a entrada de equipamentos, não sendo o sistema mais indicado para a topografia acidentada, embora seja o sistema predominante no Brasil, tanto em locais planos como acidentados. Suas vantagens, de acordo com Blinn et al. (2000; apud LEINONEN, 2004) são:

- É adequado para desbastes e cortes de regeneração;
- Pode trabalhar de maneira eficiente em florestas menores porque há somente duas máquinas para mover entre povoamentos;
- Demanda menos espaço para estocagem de madeira;
- É muito bem adequado para desbastes porque processa árvores em toretes com menor comprimento no local do corte, minimizando danos ao povoamento residual e reduz a remoção de nutrientes;
- Não necessidade da criação de trilhas de arraste e os carreadores utilizados podem ser estreitos e alternantes;
- Os equipamentos trabalham bem em áreas mais úmidas e sítios sensíveis em virtude da sua capacidade de trafegar sobre uma camada de resíduos produzida pelo próprio harvester durante a operação de corte;



- Os forwarders podem operar economicamente em distâncias maiores por causa da sua maior capacidade de carga, reduzindo a necessidade de estradas, e
- O sistema facilita a produção de sortimentos e a sua comercialização,

Sistemas de árvores inteiras (“full tree”; “whole tree”)

Aqui a árvore é abatida e, em seguida, transportada para uma estrada ou pátio de processamento, onde a madeira é preparada para o transporte. São sistemas desenvolvidos tanto para terrenos planos como acidentados. Um aspecto favorável desses sistemas é a facilidade que apresentam quando é feito o aproveitamento total da árvore, facilitando bastante o transporte primário, desde que sejam utilizados equipamentos especialmente dimensionados para esse tipo de trabalho (SALMERON, 1980). O problema refere-se ao transporte de nutrientes que é feito através da biomassa composta por galhos e folhas, na maior parte das vezes utilizada como fonte de energia, exigindo-se a recomposição dessa perda por meio da fertilização mineral (Tabela 1).

Tabela 1. Fitomassa arbórea e nutrientes estocados ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) nos compartimentos arbóreos de *Eucalyptus saligna* e suas respectivas porcentagens do peso total (VITAL, 1996).

Comp.	Biomassa $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (%)	Elementos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (%)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Lenho	145.180,48 (81,5)	102 (50,63)	29 (55,04)	160 (51,80)	145 (18,24)	44 (32,71)	15 (47,50)
Casca	14.657,40 (8,2)	31 (15,33)	13 (25,00)	56 (18,07)	490 (61,50)	57 (42,94)	7 (23,98)
Ramos	13.615,25 (7,6)	26 (12,89)	6 (10,33)	46 (15,01)	123 (15,39)	20 (15,34)	3 (8,90)
Folhas	4.616,18 (2,6)	43 (21,16)	5 (9,63)	47 (15,12)	39 (4,87)	12 (9,01)	6 (19,63)
Sub-total	18.231,43 (10,2)	69 (34,05)	11 (19,96)	93 (30,13)	162 (20,26)	32 (24,35)	9 (28,53)
Total	178.069,31	200,75	52,76	308,31	796,06	133,13	30,57

Algumas vantagens básicas deste sistema são (BLINN et al., 2000; apud LEINONEN, 2004):



- É adequado para desbastes e cortes de regeneração;
- Pode manusear de maneira eficiente uma variedade de tamanhos de árvores;
- É bem projetado para operações em terrenos declivosos;
- As máquinas individualmente são mais simples mecanicamente, o que resulta em menos tempo de pausas e maior disponibilidade mecânica, demandando operadores sem tanta experiência, menos treinamento e maior rapidez para se atingir a máxima produtividade;
- Investimento e custos operacionais são geralmente menores por unidade de produção e
- Porque menos mão-de-obra é exigida por unidade de produção, os níveis gerais de produção são maiores.

Sistemas de toras longas (“tree-length”)

São sistemas em que a árvore é derrubada e no canteiro de corte é feito apenas o desgalhamento e o corte do ponteiro. São desenvolvidos principalmente para terrenos mais acidentados, sendo que o transporte primário deve utilizar equipamentos de maior potência devido ao peso e às dimensões das toras trabalhadas. A toragem, descascamento e seleção são feitos na estrada ou em um pátio intermediário de processamento. As vantagens destes sistemas são quase as mesmas que os sistemas de árvores inteiras, com as seguintes vantagens adicionais (BLINN et al., 2000; apud LEINONEN, 2004):

- Galhos e ponteiros são deixados no local de corte, diminuindo a remoção de nutrientes;
- É bem adequado para corte raso e
- Pode ser utilizado durante cortes parciais onde as trilhas de arraste sejam largas e retas o suficiente porque as árvores são desgalhadas e destopadas no local de corte.

Sistemas de cavacos de madeira (“in-woods chipping”)

Transformação da árvore inteira ou de toras em cavacos no próprio povoamento florestal, operação que pode ser realizada por processadores móveis (Figura 2). A vantagem desses sistemas refere-se ao melhor aproveitamento da biomassa disponível para colheita, principalmente no caso de árvores de pequenas dimensões (STOKES e WATSON, 1990).



Figura 2. Produção de cavacos no campo.

Diversos trabalhos discorrem sobre as vantagens dos Sistemas de Toras Longas, existindo, contudo, problemas quanto à: necessidade de equipamentos de maior porte para arraste e carregamento; custo inicial mais elevado, principalmente para as opções de máquinas para terrenos acidentados; recebimento e processamento no pátio da indústria; etc. (GRAMMEL, 1983; LOFFLER, 1982; LONNER, 1976; SEIXAS, 1985). As vantagens de se centralizar o processamento de madeira em instalações fixas, com equipamentos estacionários altamente especializados são:

- carga de trabalho e riscos de acidentes são menores quando comparados com operações na floresta;
- a eficácia e utilização de equipamentos estacionários devem ser maiores quando comparadas com as de máquinas móveis;
- otimização da toragem feita em toras longas com o auxílio de computadores, com os conseqüentes incrementos do volume utilizável e valor de mercado para mesma quantidade de árvores;
- o processo centralizado irá oferecer a oportunidade de aumentar o índice de mecanização das operações até em florestas em pequena escala, que de outra maneira não seriam indicadas para o emprego de máquinas mais eficientes e mais caras;
- problemas ambientais causados pelo tráfego intensivo de máquinas pesadas móveis na floresta poderiam ser diminuídos.

3. Etapas da operação de colheita de madeira

A colheita de madeira pode envolver as seguintes etapas:

- **corte:** refere-se ao abate da árvore, quando deverão ser observados alguns aspectos de segurança, como limpeza ao redor da árvore,



localização de rotas de fuga e presença de galhos secos, no caso de corte manual, e procedimentos operacionais como altura da cepa, direcionamento de queda etc.

- **toragem:** envolve o desdobro da árvore em toras com comprimento de acordo com o estipulado pelo mercado, havendo a necessidade de planejar a localização das toras para facilitar o transporte subsequente;
- **desgalhamento:** a retirada de galhos e folhas pode ocasionar diversas situações de risco de acidentes, devendo ser programado o local para deposição dos resíduos;
- **extração ou transporte primário:** é o transporte da madeira do local de corte até à margem do carreador, onde a mesma poderá ser estocada temporariamente ou carregada diretamente no veículo de transporte até a fábrica ou pátio intermediário;
- **carregamento:** processo de carga efetuado à margem do carreador, transferindo-se a madeira para o veículo de transporte principal;
- **transporte principal:** corresponde ao transporte da madeira da floresta até o local de consumo, geralmente correspondendo à etapa de maior custo;
- **descarregamento:** a descarga da madeira no local de consumo;
- **descascamento:** esta etapa pode ocorrer ou não no local de abate da árvore, envolvendo algumas considerações em termos de planejamento com respeito à distância até o local de consumo, necessidade de utilização da casca para energia, ciclagem de nutrientes etc.

4. A evolução das operações de colheita de madeira

4.1. Escandinávia

O processo de mecanização das atividades de colheita de madeira nos países da Escandinávia iniciou-se na década de 50, sendo os primeiros tratores propriamente florestais importados do Canadá e União Soviética no final dessa década. Anteriormente à mecanização, os sistemas de toras curtas eram os únicos utilizados, obviamente em função da maior facilidade de manuseio das toras por parte de homens e animais. Quando da importação desses tratores, a madeira passou a ser retirada da floresta também na forma de toras longas ou árvores inteiras. Mesmo assim, os sistemas de toras curtas mantiveram a predominância e novas máquinas foram desenvolvidas na própria Escandinávia visando o aprimoramento desses sistemas (ANDERSSON e LAESTADIUS, 1987).

Cerca de 90% da madeira nos países da Escandinávia eram e continuam sendo colhidos na forma de toras curtas (MAKKONEN, 1989; LEINONEN, 2004), por

meio principalmente de “harvester” (colhedora) e “forwarder” (trator florestal auto-carregável), e as principais razões para essa preferência são:

- a) grande quantidade de madeira é colhida por meio de desbastes, onde o risco de danos ao povoamento é reduzido realizando-se a toragem nas dimensões finais de uso antes do transporte primário;
- b) o volume das árvores removidas nos desbastes iniciais é pequeno, não sendo apropriado o seu transporte por meio de “skidders” (tratores de arraste). O uso de “forwarders”, máquinas típicas de sistemas de toras curtas, independe do tamanho das árvores;
- c) os “forwarders” (trator florestal auto-carregável) oferecem melhores condições ergonômicas para os operadores, características essenciais em países com leis trabalhistas severas;
- d) a baixa disponibilidade de áreas para armazenamento de madeira junto às florestas em algumas regiões favorece o uso de “forwarders”, capazes de montarem pilhas de até 4 m de altura;
- e) a separação da madeira em pilhas de acordo com as dimensões e uso final é favorecida por meio do uso de “forwarders”, diminuindo o manuseio das toras (HAKKILA et al., 1992).

Os países da Escandinávia, notadamente Finlândia e Suécia, são considerados como o principal pólo de desenvolvimento de máquinas florestais, em virtude das condições climáticas adversas, falta de mão-de-obra, legislação trabalhista restritiva e necessidade de competitividade do setor. O crescente custo da mão-de-obra e o aumento das restrições de segurança das cabines levou ao desenvolvimento de um harvester operado por controle remoto, uma máquina com seis rodas equipada com esteiras, sem cabine e sem operador (Figura 3).



Figura 3. Harvester “Besten” da Fiberpac AB (Foto: cortesia Skogforsk).

Em outro exemplo, a preocupação com a compactação do solo levou ao desenvolvimento de protótipos como a “Máquina Andante”, uma colhedora florestal cujos atrativos são a redução da área impactada, maior adaptabilidade a condições adversas do terreno, superação de obstáculos, boa dirigibilidade e maior conforto para o operador (Figura 4). Essa preocupação está presente

inclusive nos exercícios de futurologia dos projetistas de máquinas florestais, como as mirabolantes “propostas” para a diminuição do tráfego nos solos florestais (Figura 5).



Figura 4. “Walking machine” fabricada pela Timberjack.



Figura 5. Projetos futurísticos de máquinas florestais da Plustech Oy.

4.2. América do Norte

Os Estados Unidos e o Canadá têm uma ampla gama de condições florestais que têm conduzido para os mais diversos tipos de operações florestais nas diferentes regiões daquele continente. Uma série de fatores incluindo terreno, espécies, métodos silviculturais, tipo de proprietário, densidade de estradas, disponibilidade de mão-de-obra, mercado e organização industrial têm afetado o desenvolvimento de sistemas otimizados. Em 1986, a colheita por sistemas de árvores inteiras e toras longas dominava os métodos de exploração nos E.U.A., respondendo por 94 % da madeira transportada por diferentes tipos de equipamentos (McCARY, 1991). Mais recentemente, Leinonen (2004) cita que o sistema de árvores inteiras ainda é o principal, com 80% da produção, seguido por toras curtas com 15% e toras longas com 5%.

Por exemplo, sistemas de cabos aéreos são mais indicados para condições montanhosas que excluam sistemas terrestres, onde predominem florestas de mesma idade, exista mão-de-obra técnica qualificada e a organização industrial permita uma grande utilização de equipamentos caros. Assim, sistemas de cabos aéreos são encontrados no oeste dos EUA (Figura 6), onde essas condições são comuns, mas são raramente empregados na região Sul. Por outro lado, sistemas terrestres de alta produtividade com desgalhamento mecanizado podem ser vistos nas florestas de coníferas no sul e nordeste dos EUA, mas não são comuns no Oeste.



Figura 6. Sistema de transporte de toras por cabos aéreos.

O equipamento típico utilizado no sul dos EUA constitui-se de um feller-buncher (tratores florestal cortador-acumulador) para cortar as árvores e um skidder de garra para realizar a extração das toras. O skidder, que apareceu em cena durante a década de 60, é um veículo versátil e forte, fácil de operar e econômico. Sua robustez e facilidade de manutenção são algumas das outras razões de sua popularidade na América do Norte. Além disso, os skidders podem trabalhar com uma larga margem de tamanhos de árvores. O sistema “feller-buncher + skidder” tem sido otimizado para produção em sistemas de corte raso em larga escala.

Atualmente, os sistemas de toras curtas empregando harvesters e forwarders vêm sendo introduzidos em algumas regiões em virtude do menor impacto ambiental resultante principalmente em operações de desbaste. Sistemas de toras curtas podem oferecer um melhor desempenho e viabilidade econômica na implementação de regimes de desbaste seletivo. Nos sistemas de toras curtas as árvores são cortadas manualmente ou por meio de uma colhedora ou processador. Tratores florestais auto-carregáveis (forwarders) são usados para o transporte primário. A redução da necessidade de mão-de-obra a tão somente dois operadores experientes também é fator de estímulo para as empresas americanas devido à dificuldade de se encontrar trabalhadores qualificados e o elevado custo dos mesmos.



Existem também extensas áreas de florestas manejadas de maneira intensiva semelhantes aos tipos encontrados na Finlândia e Suécia. Com essas plantações próximas do segundo e terceiro desbastes, as atenções se voltam mais para a qualidade e tamanho das toras e menos para a produção de fibras. A extração deve ter certos cuidados com as árvores remanescentes que irão compor a colheita final de toras para serraria (McCARY, 1991).

Enquanto que os sistemas de toras curtas possuem diversas vantagens sobre os sistemas convencionais nas prescrições de manejo de ecossistemas, a questão básica ainda é econômica. O processamento próximo ao local de corte é uma nova estratégia de colheita para muitos operadores e geralmente requer um maior investimento. Além disso, as exigências de madeira e condições de colheita são relativamente específicas para economia e performance máximas. Também, devido ao fato de que os harvesters e processadores geralmente manuseiam somente uma árvore por vez, a produtividade e o custo são sensíveis ao tamanho das peças.

Mesmo na aplicação mais indicada, a produtividade de sistemas de toras curtas raramente será maior do que os sistemas convencionais. A redução nos custos é gerada pelas reduções no uso de mão-de-obra e construção de estradas e pátios, o que pode aumentar a margem de lucro do responsável pela exploração ao trabalhar em uma condição adequada.

5. Planejamento da colheita de madeira

Planejamento significa uma tomada de decisões relativas às atividades futuras, procurando atingir resultados economicamente satisfatórios. Isto conduz a um programa de ações que varia na sua natureza e extensão dependendo do comprimento do plano e do tamanho da respectiva área, atividades florestais requeridas e os recursos necessários com respeito à mão-de-obra, máquinas, rotas de transporte etc. (STAAF e WIKSTEN, 1984).

O objetivo primário do planejamento da colheita de madeira é a economicidade de toda a operação. A intensificação do nível de mecanização das atividades por parte das empresas exige um investimento inicial de capital mais elevado. Portanto, deve-se otimizar o uso desses equipamentos e racionalizar as operações, propiciando um uso mais efetivo dos recursos e alcançando um custo operacional menor que compense o alto investimento. Ressaltando essa importância, um exemplo de custos de produção levantado por Seixas (1987) demonstra uma situação onde as operações de colheita e transporte de madeira são responsáveis por 82% do custo de madeira posto fábrica (Tabela 2).



Tabela 2. Custos percentuais de produção de *Eucalyptus* spp, a uma distância média de transporte de 192 km.

ETAPA	% CUSTO FINAL POSTO FÁBRICA
Madeira em pé	18%
Corte, desgalhamento, toragem e empilhamento	15%
Carregamento e descarregamento	4%
Transporte primário	13%
Transporte principal	50%

5.1. Planejamento

As atividades de colheita representam uma intervenção drástica em um povoamento florestal, suplantadas somente pela ocorrência de um incêndio florestal, e geram impactos no meio ambiente e inclusive um impacto visual nas pessoas que entram em contato com uma área alterada para a retirada de madeira. Outro aspecto importante é a própria garantia de abastecimento dos locais de consumo da madeira, haja vista a influência que o clima (ex. precipitação) tem sobre o bom andamento das operações. A consideração prévia com respeito aos aspectos mais importantes nessa operação propiciam a economicidade da atividade e minimizam o impacto causado, além de se estabelecer um fluxo constante de fornecimento de matéria-prima. A seguir são detalhados alguns pontos mais importantes a serem levados em conta nesse planejamento.

Características dos métodos de colheita

Ao se escolher um método de colheita de madeira deve-se avaliar as suas exigências e limitações físicas. Por exemplo, todos os métodos de tração são mais eficientes quando o arraste é feito declive abaixo, o que requer estradas à baixa altitude o mais próximo possível do fundo dos vales (STENZELL et al., 1985). A potência e o tamanho dos caminhões de madeira irão influenciar na determinação dos padrões exigidos para as estradas. Alguns equipamentos utilizados na extração de madeira possuem um valor de distância economicamente ótimo, o que condiciona a construção de uma rede de aceiros que permita o acesso de veículos para o transporte posterior.

Espaçamento e padrão de estrada

O espaçamento e o padrão de estrada ideais são aqueles que proporcionam o menor custo total combinado por unidade de volume transportada em arraste, transporte com caminhões, construção e manutenção da estrada etc. É



importante a precisão das estimativas desses custos, bem como a determinação do volume de madeira por hectare a ser explorado.

Considerações silviculturais

Entre os itens considerados estão o estoque de madeira e o volume a ser colhido, o que em função do sistema silvicultural de colheita, desbaste ou corte raso, determinam a quantidade de madeira/ha a ser retirada da floresta. Em virtude do custo da colheita, muitas vezes há a necessidade de se concentrar as operações, ocasionando assim uma maior intensidade do desbaste ou uma maior área a ser explorada em corte raso. Devido ao incremento do volume de madeira, os custos diretos da colheita e do transporte por metro cúbico são reduzidos, assim como certos custos de manutenção de estradas, marcação de árvores e supervisão.

Outros aspectos estão ligados à proteção contra fogo, preservação da qualidade dos recursos hídricos e do solo, proteção das árvores remanescentes, enfim, à proteção do meio ambiente como um todo.

Segurança

A colheita de madeira é uma atividade perigosa, onde ocorrem com freqüência altas taxas de acidentes. Com isso, o trabalho das equipes deve ser sempre planejado de maneira a considerar os aspectos de segurança, incluindo treinamento e o fornecimento de equipamentos de proteção individual (EPI's). Um problema a mais no fator segurança é o baixo nível educacional do trabalhador rural brasileiro, que dificulta a aceitação das normas de proteção, as quais algumas vezes chegam a ser incômodas.

A segurança do transporte também cabe no planejamento das estradas, projetando-se adequadamente a inclinação do pavimento, os raios de curvatura, largura e espaço para retorno e ultrapassagem etc.

Considerações ambientais: solo

Uma das preocupações vitais do planejamento da colheita refere-se à influência dessas atividades nos distúrbios e movimentação do solo (Figura 7). Essas conseqüências são ainda mais graves quando o movimento do solo está combinado com o "runoff" da água, ocasionando erosão laminar intensa e a sedimentação dos cursos d'água, prejudicando sua qualidade. Esses distúrbios diminuem a capacidade do solo em regenerar e manter uma cobertura florestal, o que prejudica sensivelmente tanto no aspecto ambiental como econômico para as empresas e toda a sociedade.



Figura 7. Compactação do solo e formação de sulcos devido ao tráfego de “clam bunk” skidder.

O planejamento pode atuar na locação de rotas para arraste de madeira, restrição no uso de tratores às inclinações acima de 35%, construção de estradas com greides de no máximo 12-15% etc. Em suma, deve-se lembrar sempre que o solo deve ser protegido, pois sem ele não existirão árvores (STENZEL et al., 1985).

Outro aspecto importante refere-se ao vazamento de óleos hidráulicos e lubrificantes das máquinas florestais, além da produção de lixo. As certificações estão cada vez mais exigentes quanto à manutenção e qualidade do meio ambiente, livre de quaisquer contaminações.

A estética da colheita de madeira

Em diversos casos, o primeiro aspecto de uma operação florestal que evoca uma resposta negativa da sociedade é a qualidade visual resultante no local. A colheita de madeira é uma atividade árdua e com sérios riscos financeiros, com a maior parte das atenções voltadas à obtenção de um elevado rendimento operacional da maneira mais econômica possível. Em situações como essa, a preocupação com o aspecto visual resultante dessas operações ocupa o último lugar na escala de prioridades de qualquer empresa responsável pela colheita de madeira. Atualmente não existe legislação que trate de qualidade estética da área florestal pós-colheita ou quanto à necessidade de investimentos para se proceder à limpeza dessas áreas.

Os quatro principais elementos da colheita de madeira que causam os maiores impactos visuais são: estradas para caminhões, pátios, trilhas de arraste e corte. Jones (1993) desenvolveu algumas diretrizes de aplicação prática para melhorar a qualidade visual. Essas práticas vêm sendo aplicadas com sucesso em terras particulares no Nordeste dos EUA.

Estradas para caminhões - por causa do seu comprimento e largura, usualmente elas causam as mudanças permanentes mais dramáticas em um talhão florestal. Elas também podem ser a fonte de maior despesa na colheita de madeira. A construção e uso de estradas para caminhões demandam



planejamento cuidadoso para reduzir custos e minimizar impactos. Quando as estradas são construídas e usadas durante a estação seca, elas mantêm-se melhor, parecem em ordem, são menos erodidas e custam menos. Cortar e remover as árvores antes de se entrar com os tratores de lâmina resulta em um melhor aspecto. Algumas metas na construção de estradas são:

- Diminuir os efeitos da lama e erosão: seguir as Melhores Práticas de Manejo (M.P.M) para minimizar a erosão do solo e proteger a qualidade da água; identificar os solos que podem causar problemas; adequar a localização da estrada com a topografia para reduzir os distúrbios do solo; evitar inclinações acentuadas ou longas; providenciar drenagem adequada; permitir que as novas estradas tenham um tempo para acomodação e estabilização antes do uso.
- Impacto mais suave da remoção das árvores: limpar somente o mínimo de árvores e sub-bosque; remover e utilizar todas as árvores comerciais que tenham sido marcadas e cortadas; quando possível, empurrar os resíduos, tocos e árvores não comerciais para dentro de depressões e enterrá-los.
- Realçar o uso recreacional: evitar cruzar muros de pedras; deixar árvores grandes e atrativas ao longo das estradas; onde apropriado, criar aberturas para alguma vista especial ou habitat para vida silvestre.
- Proteger o investimento: instalar um portão para manter veículos não autorizados fora da estrada durante e após a época de colheita; colocar barreiras para água, fossos ou inclinações para desvio da mesma; realizar semeadura das áreas afetadas que sejam vulneráveis à erosão.

Pátios - Este é o centro nervoso da operação de colheita de madeira. Os pátios devem ser conectados com as trilhas de arraste e relativamente próximos às estradas públicas, mas não muito distantes das operações de colheita. Devem também ser considerados o seu tamanho e forma. Além desses requisitos básicos, é indicado ocasionalmente analisar os impactos ao se misturar o homem, lama e máquinas nesses espaços abertos na floresta. Portanto, indica-se considerar os seguintes pontos:

- Presença menos agressiva: seguir sempre as Melhores Práticas de Manejo para controle da erosão do solo; ocultar os pátios da vista das estradas, trilhas ou outras áreas sensíveis usando a topografia e vegetação como barreiras (Figura 8); localizar os pátios em locais bem drenados longe de água; manter a lama fora das estradas públicas colocando cascalho ou cavacos de madeira por cerca de 60 metros antes da entrada da estrada.

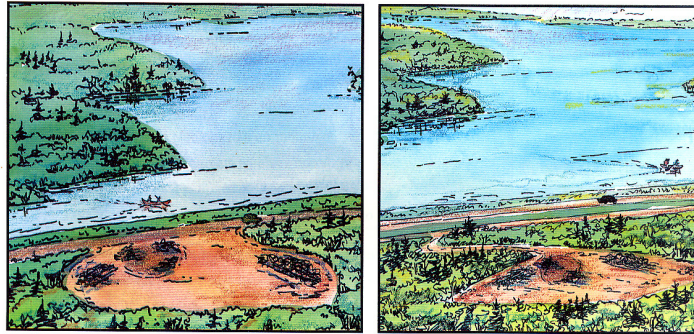


Figura 8. Deve-se evitar a instalação de pátios visíveis a partir de estradas ou áreas de recreação. Na ilustração à direita o pátio e a pilha de resíduos estão ocultos devido ao tipo de estrada de acesso (Ilustração: Susan Davies).

- Reduzir a bagunça e a desordem: reduzir os custos de limpeza identificando os locais para colocação do lixo com antecedência; minimizar a quantidade de resíduos de madeira nos pátios pela correta utilização e por cortar e deixar na floresta as partes que não serão utilizadas; remover e dispor adequadamente o lixo diário; quando o trabalho estiver terminado, limpar a área de todos os resíduos (Figura 9).



Figura 9. Local de apoio mecânico para máquinas de colheita com lixo espalhado pela área (esquerda) e deposição de óleo residual diretamente no solo (direita).

- Criar um habitat para a fauna: recuperar áreas perturbadas com a colocação de calcáreo, fertilizantes e semeando os pátios; e deixar árvores atrativas, sem danos, ao redor da borda dos pátios.

Trilhas de arraste - Muitos dos princípios que se aplicam às estradas e pátios podem ser aplicados às trilhas de arraste. Usar um mapa esquemático da área a ser explorada para planejar uma rede sistematizada de trilhas de arraste. Ter em mente que trilhas cuidadosamente planejadas podem ser usadas para recreação e vida silvestre, assim como para futuras colheitas. O planejamento deve considerar:

- Reduzir lama e erosão: seguir MPM's; localizar as trilhas de arraste de maneira a se adequarem ao terreno acompanhando os contornos; evitar terrenos inclinados; manter todas as trilhas de arraste fora dos cursos d'água; instalar barreiras para água quando a inclinação da trilha for maior do que 5 %; etc.
- Proteger árvores residuais; designar árvores para servirem como "pára-choques" evitando danos às árvores residuais (Figura 10); evitar guinchamento e arraste em ângulos agudos; não transportar árvores sobre condições de alta umidade que irão resultar em sulcamento excessivo, erosão, ou compactação do solo.

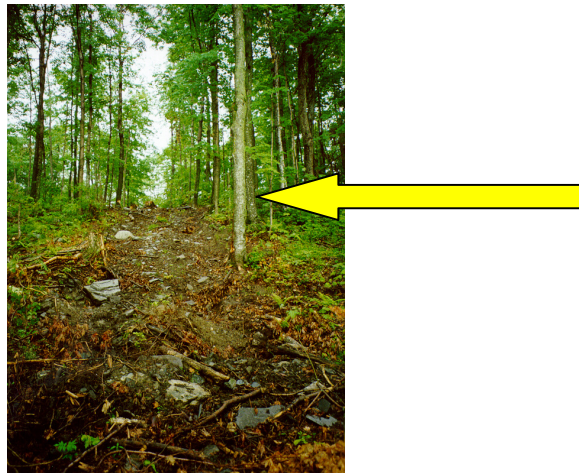


Figura 10. Árvore deixada em pé ao lado de uma trilha de arraste de madeira para proteção da regeneração e árvores adjacentes.

- Minimizar impactos: evitar cruzar "muros" de pedras; empurrar os diversos resíduos para dentro de depressões; semear todas as áreas alteradas susceptíveis à erosão; etc.

Corte - Como primeira atividade na extração de madeira, o corte pode determinar o nível de impacto das etapas subsequentes. O corte mal feito, por exemplo, pode danificar o talhão ou causar impactos durante o arraste.

- Marcar árvores somente se elas puderem ser cortadas sem causar danos excessivos ao povoamento residual; trabalhar de maneira ordeira; usar técnicas de corte direcional; cortar as cepas o mais próximo possível do solo.

Ocupar-se dos aspectos visuais das operações florestais custa dinheiro. Jones (1993) estima que isto deva representar por volta de 5 % do preço bruto da madeira em pé na maior parte das situações. Parte desse custo pode ser pago pelo empresário devido ao rendimento operacional reduzido causado pelo maior



cuidado no corte e extração. Outros custos serão causados pelas atividades de limpeza, estabilização e semeadura após o término das operações. Por causa dos investimentos, a estética das operações de colheita de madeira somente será levada em consideração por proprietários e empresários que estejam convencidos da sua importância.

População e mão-de-obra

Em diversas regiões do Brasil está ocorrendo a concentração da população em áreas urbanas, o que aumenta a distância de transporte de pessoal até os locais de trabalho nas florestas. Isto significa o pagamento da “hora rodoviária”, bem como uma perda de tempo produtivo em deslocamento. Existe também a nossa pequena tradição no trabalho florestal, o que dificulta a obtenção de mão-de-obra qualificada e exige um investimento maior em treinamento. Concomitantemente, o trabalho florestal é considerado como sendo árduo e perigoso e sofre concorrência do setor agrário e industrial em termos de melhores salários e condições de trabalho. Assim, as empresas procuram concentrar as operações e intensificar o índice de mecanização, tentando diminuir a dependência do trabalho braçal.

5.2. Planejamento detalhado

De acordo com a rotação determinada para um povoamento florestal, a área pode ser dividida em hortos e depois subdividida em talhões de maneira que haja produção e fornecimento de madeira todos os anos. Ao se fazer o planejamento anual deve-se determinar o cronograma de operações a serem feitas nos talhões do(s) horto(s) que serão explorados comercialmente, bem como a seqüência cronológica de todas as atividades. Como resultado desse trabalho obtém-se um mapa de operações. Simultaneamente são feitos planos com respeito à alocação de mão-de-obra, máquinas, meios de transporte, acampamentos e outros recursos. Deve-se trabalhar em estreita colaboração com o Setor de Inventário, procurando sempre que possível realizar um inventário pré-corte para proceder à marcação de árvores a serem cortadas, se pertinente, e obter a estimativa mais próxima possível da quantidade de madeira a ser explorada.

Os talhões podem ser divididos em parcelas para corte e transporte, variando em tamanho e orientação dependendo da quantidade de madeira a ser removida, esquema de corte, desbaste ou corte raso, método de colheita, comprimento das toras etc. Essa divisão já deve ser feita conjuntamente com a determinação do sistema de estradas e outras rotas de transporte. Deve-se levar em conta as características da área e os equipamentos utilizados no transporte primário, tendo em vista a distância econômica de cada um e os requisitos operacionais.

Desde que o transporte de madeira constitui uma grande parte do valor total dos custos de produção, torna-se essencial reduzir esses custos por meio de um sistema racional de abertura de estradas e outras rotas de transporte (STAAF e WIKSTEN, 1984).

5.3. Dados necessários para o planejamento da colheita de madeira

A primeira providência a ser tomada é coletar todos os dados possíveis e disponíveis relacionados às atividades de colheita de madeira, entre os quais podem ser incluídos:

a) Mapas

Entre os mapas que podem ser utilizados estão: os mapas topográficos; os mapas de tipos de madeira, mostrando os locais de cada espécie (Figura 11), classes de tamanho e o estoque de madeira; mapas especiais de plano de colheita, integrando tipo e volume de madeira com escala topográfica; e mapas geológicos, mostrando a estrutura geológica, as rochas originais, natureza dos materiais, muito úteis na construção de estradas.

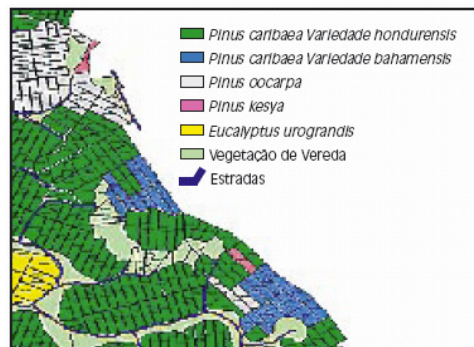


Figura 11. Mapa de projetos e talhões (Fonte: Satipel)

b) Fotografias aéreas.

Principalmente no caso de florestas naturais as fotografias aéreas são elementos valiosos no planejamento, ainda mais em áreas de difícil acesso. O INPE de São José dos Campos, SP, é um órgão que pode fornecer esse tipo de informação aos interessados.

c) Levantamento de terras e rotas.

O levantamento e cadastramento de propriedades vizinhas à área ser explorada é útil para determinar os limites legais desta área, evitando problemas futuros de invasão de terras. No caso de rotas, como estradas principais, municipais e florestais, linhas elétricas etc., esses dados são empregados no controle fotogramétrico e no planejamento do sistema de estradas da empresa.

d) Dados do talhão.

Dados sobre o estoque de madeira do talhão podem ser obtidos do inventário florestal ou de valores de colheitas recentes em áreas adjacentes, em termos do total de madeira e volume líquido, volume por hectare, comparação do que foi



cortado e o que foi realmente transportado etc. No caso de desbaste seletivo é preferível marcar e enumerar as árvores antes do planejamento da rede viária.

e) Dados de custos.

Em termos de custo de colheita devem ser feitas estimativas a partir de estudos de tempo e custo, ou então basear-se em dados de operações efetuadas em condições similares. Quanto mais detalhadas as condições em que essas operações foram feitas, maior será a proximidade entre a estimativa e o custo real.

f) Equipamentos.

A escolha dos equipamentos a serem utilizados deve ser bem no início do planejamento, considerando-se não somente as melhores opções técnicas em virtude das restrições de topografia, solo, dimensões da madeira etc., mas também as opções efetivamente disponíveis para o trabalho na região específica. É importante neste caso a experiência dos responsáveis pela colheita possibilitando determinar a melhor opção tanto técnica como econômica. Muitas vezes a melhor opção técnica não corresponde à opção mais econômica, em virtude do elevado custo de aquisição do equipamento, baixo preço alcançado pela madeira colhida, dificuldades de manutenção da máquina, baixa produtividade da floresta etc.

g) Aspectos legais.

Quanto aos aspectos legais por diversas vezes são exigidos planos de corte por parte de órgão governamentais, como também existem leis controlando a exploração em áreas próximas a cursos d'água, terrenos com declives acentuados, locais também de uso público, áreas com dificuldades de regeneração e tantos outros mais. O engenheiro responsável deve conhecer as leis de tráfego de veículos nas estradas públicas, bem como o padrão das estradas por onde os seus caminhões de madeira irão trafegar.

No caso da compra de madeira em pé de terceiros, os itens estipulados em contrato entre a empresa e o dono das terras deverão ser do conhecimento de todos os responsáveis pela parte operacional das atividades de colheita. Isto pode evitar, por exemplo, a necessidade futura de operações de limpeza dos resíduos da colheita ou ainda o pagamento de multas por estragos causados na regeneração ou árvores remanescentes.

h) Reconhecimento de pré-planejamento.

O reconhecimento é um exame preliminar da área para familiarizar o planejador com a região e complementar as informações fornecidas pelos mapas, fotos aéreas etc. A intensidade desse conhecimento é função da precisão dos dados já obtidos e das dificuldades que o local apresente para o seu detalhamento. Alguns dos itens que devem ser observados e anotados são:

- Condições afetando a locação de estradas: solos, afloramentos de rochas, depósitos de cascalhos, áreas sujeitas a deslizamento, necessidade de pontes etc.

- Condições afetando os métodos de colheita: solos, topografia etc.
- Condições afetando a prioridade de corte: maturidade, saúde e vigor das árvores, evidências de ataques de insetos e fungos.
- Propriedades adjacentes.

5.4. Um exemplo de planejamento para arraste de madeira

A primeira etapa deste planejamento consiste em demarcar as áreas adequadas para arraste, estratificando-as em volume de madeira a ser cortado por hectare, o que é uma variável importante no espaçamento de estradas. Logo após, determina-se a distância ótima entre estradas, que será a distância paralela entre estradas para caminhões que dará o menor custo por unidade de volume em arraste mais construção da estrada.

No espaçamento ótimo, o custo de arraste será igual ao custo unitário da construção da estrada, o que está demonstrado no exemplo gráfico da Figura 12. Os pontos nas curvas são obtidos pela divisão do custo de construção da estrada pelo volume de madeira da área por ela servida e o custo de arraste por unidade de volume em função da distância a ser percorrida.

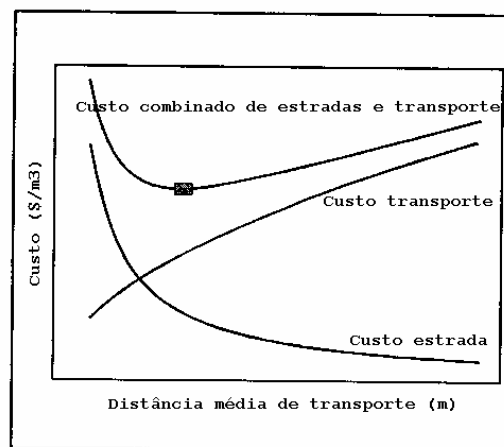


Figura 12. Gráfico para determinar a distância ótima de estradas.

Na seqüência deve ser projetado um padrão sistemático de estradas, sendo que em terrenos planos deve ser determinado o melhor local para a estrada principal, alocando as outras perpendicularmente à esta. No caso de terrenos mais inclinados, a estrada principal fica no fundo do vale, ou parte mais baixa do declive, com as outras estradas de contorno aproximadamente paralelas e a uma distância média correspondente à distância ótima calculada. Entre essas estradas existem vias de conexão.



Se ao plano de colheita corresponder também o uso de pátios intermediários para estocagem de madeira, a sua localização deve ser marcada sempre a uma distância ótima entre diversos pátios. Os limites das áreas das quais a madeira é retirada para cada pátio devem ser bem delineados. Finalmente, é importante uma checagem no campo para se assegurar que as estradas para os caminhões podem ser construídas nos locais onde foram projetadas e de que os pátios intermediários programados são satisfatórios (STENZEL et al., 1985).

5.5. Estimativa dos custos de colheita

A última etapa do planejamento da colheita refere-se à preparação de uma estimativa de todos os custos envolvidos desde a construção de estradas até o descarregamento da madeira no pátio da fábrica. Qualquer alteração de equipamentos ou sistema de trabalho deve ser avaliada também em termos da influência no custo da madeira e, além disso, deve-se ter os dados de custo da colheita em função das variações de cada uma das condições que afetam o trabalho na floresta e que, logicamente, possam ser adequadamente mensuradas.

Algumas das variáveis que afetam a produção de uma máquina ou sistema de trabalho e, em consequência, o custo da operação, são descritas a seguir:

- Planejamento, engenharia e esquema. A qualidade das informações obtidas nos mapas e fotos aéreas e, em função delas, o reconhecimento de campo necessário; as condições do terreno e acessibilidade; e o clima do local durante os trabalhos.
- Construção da rede viária. Comprimento e padrão da estrada; número e tamanho de tocos; tipo de solo; volume de aterros e tipo e volume de escavação de rochas; distância de jazidas de rochas e cascalhos para superfície dos pavimentos; e estruturas de drenagem exigidas.
- Manutenção da rede viária. Inclinação, curvatura e tipo do material de superfície. Declives íngremes e curvas acentuadas aumentam os custos de manutenção.
- Corte, toragem e desgalhamento. Altura e diâmetro médios das árvores; número médio de toragens por árvore; volume por hectare; condições do terreno; distâncias de deslocamento. A percentagem de perdas por quebras e defeitos é uma variável importante quando se cortam árvores de maior valor comercial.
- Arraste, transporte sobre o terreno ou aéreo. Volume médio das toras; distância média de transporte; volume por hectare; direção declive acima ou abaixo; condições do terreno; preparo dos locais para estocagem de madeira. No transporte de madeira sobre o solo são importantes o tipo de solo e suas propriedades e o conteúdo de umidade.



- Carregamento. Tamanho médio das toras; capacidade de carga dos caminhões; e equilíbrio entre a capacidade dos carregadores e caminhões disponíveis. Se for feito carregamento “a quente”, coincidente com o transporte primário da madeira, a produção do carregador depende da produção dos equipamentos do transporte primário. Se for feito um carregamento “a frio” a partir de pilhas de madeira, a distância que o carregador movimenta-se entre as concentrações de toras e o volume das pilhas são também fatores de produção.
- Transporte principal. Volume médio das toras e conseqüente capacidade de carga em volume dos caminhões; tempo de viagem. Restrições de peso e limite de velocidade em estradas públicas afetam os custos do transporte de madeira.
- Muitas vezes ocorre a necessidade de se fazer um baldeio de madeira, ou seja, um transporte entre a floresta e pátios intermediários, no caso de formação de estoques ou necessidade técnica dos veículos de transporte. Assim, os custos envolvidos no transporte intermediário, carga e descarga, também são computados.
- Descarregamento. O volume médio das toras é a principal variável afetando os custos de descarregamento, além do planejamento de fluxo dos veículos.
- Outras duas variáveis importantes a serem consideradas são a qualidade da mão-de-obra e o clima, que afetam sobremaneira o rendimento das equipes e, conseqüentemente, o custo das operações. Além desses custos deve-se considerar também o custo de administração, que será particular às características de cada empresa (STENZEL et al., 1985).

Esses valores podem ser levantados através de estudos de tempo, onde se determinam os rendimentos operacionais de cada uma das atividades, bem como por meio de um arquivo de dados, bem elaborado por parte da empresa, atualizando-se os valores de custo para condições similares.

6. Fatores que influenciam a colheita de madeira

Para que se consiga a maior eficiência possível na utilização de qualquer sistema operacional devemos, antes de tudo, realizar um levantamento de todas as condições encontradas no ambiente de trabalho. Cada uma dessas condições possui diferentes níveis de influência no desempenho de máquinas e trabalhadores, condicionando a escolha de diferentes sistemas de colheita de acordo com determinado ambiente. Esse levantamento permite determinar os limites operacionais para cada tipo de equipamento a ser utilizado, bem como definir a metodologia operacional mais adequada na viabilização do sistema como um todo.



Localização geográfica e extensão da área de trabalho

A localização geográfica, definida pela latitude e longitude, influencia o período claro do dia e as variações estacionais. A altitude do local de trabalho, expressa em metros acima do nível do mar, afeta a densidade do ar que, por sua vez, influi na absorção de oxigênio pelos trabalhadores e na eficiência da combustão dos motores.

A extensão da área em hectares (ou outra medida qualquer), bem como se é contínua ou descontínua, é também outra informação importante para o correto planejamento das operações e manejo da área florestal.

Aspectos climáticos

Os principais efeitos do clima referem-se à precipitação pluviométrica, condições de temperatura (máxima e mínima durante o período de trabalho), umidade e ventos, com maior ou menor influência dependendo da região estudada. No caso da ocorrência de chuvas, o impacto irá depender do tipo de equipamento utilizado e do nível de estoque de madeira durante a época de precipitação, bastando para tal adequar o equipamento ou o cronograma de fornecimento, o que diminui o nível crítico de garantia de abastecimento. Altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar possibilitam maior probabilidade de ocorrência de incêndios, exigindo maiores cuidados na utilização de máquinas, e dificultam o desempenho físico do trabalhador florestal.

Os ventos influenciam o corte das árvores em particular. No caso de ventos com velocidade entre 10 e 14 m/s, o corte de árvores é feito de maneira muito trabalhosa, principalmente se houver a necessidade de orientação de queda.

Capacidade de suporte do terreno

A capacidade de suporte do terreno é a sua capacidade para resistir à pressão física e depende do tipo do solo e sua umidade. Em termos práticos não existe capacidade de suporte quando um veículo não puder prosseguir por estar atolado. A capacidade de suporte é completa quando não existirem traços de pressão no terreno. A capacidade de suporte é usualmente expressa em N/cm² (Newton por cm²). Solos granulares finos com alta umidade possuem baixa capacidade de suporte. Solos completamente secos geralmente têm uma alta capacidade de suporte. Solos consistindo de material grosseiro como areia e cascalho, que propiciam boa drenagem, pertencem a esta categoria.

Topografia

Trata-se de um dos mais importantes fatores afetando tanto a capacidade humana como limitando a atuação de máquinas. O corte de árvores em terrenos com topografia mais acidentada torna-se muito mais difícil, sendo que no arraste da madeira alguns equipamentos são inoperáveis, enquanto que outros, no caso



de baixa produção, não caracterizam uma alternativa economicamente viável. Nessas condições, a construção de estradas torna-se muito mais difícil e mais cara, além de aumentar o tempo gasto com transporte e exigir mais das máquinas nas inclinações mais acentuadas. Na descrição de um tipo de terreno as inclinações podem ser divididas em cinco classes ou intervalos expressos em porcentagem ou grau (Tabela 3). Em um levantamento efetuado em diversas empresas brasileiras, Seixas (1987) encontrou 71% da área total dessas empresas na classe 1 e 9% nas classes 3 e acima.

Tabela 3. Classes de inclinações (STAAF e WIKSTEN, 1984).

CLASSE	PORCENTAGEM	GRAU
1	0 - 10	0 - 6
2	10 - 20	6 - 11
3	20 - 33	11 - 18
4	33 - 50	18 - 27
5	> 50	> 27

Características das árvores

Dentro das características das árvores colhidas temos os seguintes fatores de importância:

- **Diâmetro:** o diâmetro do tronco da árvore varia com a espécie, idade da árvore e espaçamento de plantio. Do ponto de vista da colheita, Staaf e Wiksten (1984) concluíram que é desejável produzir grandes árvores preferencialmente de tamanhos uniformes, o que ocasionaria uma redução nos custos de colheita por unidade de volume e permitiria uma escolha mais fácil das máquinas e o seu uso correto.
- **Galhos e copas:** a altura da copa em relação à altura total da árvore é de especial interesse no caso do desgalhamento, bem como as vezes o tamanho dos galhos torna-se importante no caso de se escolher ferramentas de corte para o desgalhamento mecanizado.
- **Peso das árvores e casca:** a intensificação da mecanização permitiu a retirada de árvores inteiras e toras longas. Sendo assim, a determinação do peso total dessas peças de grande porte e o seu centro de gravidade são importantes na escolha de métodos e meios técnicos de extração de madeira. Esse peso é função da forma do tronco, altura da árvore e densidade da madeira.
- **Qualidade da madeira:** o valor econômico atingido no mercado consumidor pela madeira regula os investimentos em máquinas, ou seja, quanto maior o seu valor, mais recursos poderemos injetar na compra de máquinas.



Características da floresta e tipo de colheita

A produção de madeira de uma floresta (volume/ha) influencia diretamente no custo da colheita por unidade produzida de madeira, que é menor quanto maior for a quantidade de madeira colhida.

No caso de reflorestamentos, durante o plantio já se deve ter estabelecido o sistema de colheita que será empregado, determinando o espaçamento mais adequado em função das máquinas que irão transitar dentro da floresta. Essas máquinas deverão ter o seu acesso facilitado dependendo sobremaneira da rede de estradas implantada, principalmente considerando-se os seguintes aspectos: raios de curvatura necessários; a cobertura do leito, capaz de sustentar o trânsito previsto para cada área; a durabilidade estimada para cada tipo de estrada e a manutenção exigida; a densidade da rede (m/ha) em concordância com a operação de extração de madeira; etc.

O tipo de colheita efetuada (corte raso, desbaste seletivo, sistemático ou combinado) representará a quantidade e qualidade de madeira a ser retirada, determinando o número e modelos de máquinas necessárias, bem como os custos da colheita e possíveis receitas.

7. Principais efeitos da colheita

O profissional responsável pelas atividades de colheita de madeira não deve ter como única preocupação o planejamento e elaboração do sistema mais adequado em termos da maior produtividade possível ao mais baixo custo de investimento. Deve considerar também os efeitos que irão ocorrer no meio ambiente, procurando preservá-lo ao máximo possível, mantendo-se a sua capacidade produtiva. Percebe-se, portanto, a íntima relação existente entre a Colheita de Madeira e demais áreas de estudo como Solos, Manejo de Bacias Hidrográficas, Ecologia etc. Cabe ao responsável possuir noções sobre cada uma dessas áreas, estimando os efeitos das atividades sob sua responsabilidade e encontrando as melhores soluções sob um ponto de vista mais abrangente, ou seja, o ecossistema como um todo.

Efeitos biológicos

Devem ser considerados principalmente no caso de colheita seletiva em florestas naturais e desbastes em florestas implantadas onde ocorrem danos e até mesmo a morte das árvores remanescentes e da regeneração. Bensor e Gonsior (1981) relatam que em um trabalho de colheita, onde foram retirados ao redor de 23% das árvores de um povoamento por meio de cabos aéreos, cerca de 66% das árvores remanescentes sofreram algum dano leve e 10% sofreram injúrias tidas como moderadas a sérias.

Outro exemplo refere-se à regeneração natural, de fundamental importância para a manutenção das florestas tropicais: como dado médio ilustrativo, Araújo (s.d.)



encontrou cerca de 2,8 mudas de espécies arbóreas por m² de floresta; se durante o arraste de árvores através de “skidder” for aberta uma trilha de 100 m de comprimento por 3 m de largura, haverá uma área total afetada de 300 m²; logo, considerando o dado anterior, existe uma perspectiva de destruição de praticamente 840 mudas, algumas vezes sacrificadas para a retirada de um pequeno número de árvores. As máquinas também podem afetar as raízes das árvores quebrando-as e prejudicando a sua sustentação e crescimento.

Danos ao solo

Um dos grandes problemas é a compactação, considerada como o ato ou ação de forçar a agregação das partículas do solo e, por sua vez, reduzir o volume por elas ocupado. Ela pode ser descrita em termos da tensão aplicada no solo e as mudanças resultantes nas condições do mesmo, entre as quais incluem-se: aumento na densidade natural do solo, decréscimo no volume de macroporos, infiltração e movimento interno de água mais lentos, aeração mais pobre e maior resistência mecânica do solo ao crescimento de raízes.

A intensidade de compactação do solo vai depender da pressão exercida pelos pontos de apoio dos veículos, suas cargas e equipamentos, o número de vezes que os caminhos são atravessados e da textura e agregação do solo. Os distúrbios devido ao tráfego intenso podem ser o início de um processo erosivo, além de causar efeitos no sítio hidrológico e no desenvolvimento das plantas.

A distribuição de pressão no solo sob os rodados dos veículos dependerá: 1) do peso do veículo que determinará o total da força exercida; 2) do tamanho da área de contato entre o rodado e o solo, que determinará a quantidade de pressão exercida; 3) da distribuição da força dentro da área de contato; e 4) do conteúdo de umidade e densidade do solo (Soenne, 1958; apud BACCHI, 1976).

Reaves e Cooper (1960) apresentam um gráfico onde se pode observar a distribuição de pressões no perfil de um solo de textura barro limosa sob as rodas de um trator de pneus, à esquerda, e de um trator de esteiras à direita. As pressões exercidas na superfície do solo foram de 0,865 kgf/cm² para o trator de esteiras e 1, 786 kgf/cm² para o trator de pneus, embora ambos apresentassem o mesmo peso total, devido à maior área de contato da esteira (Figura 13).

A mecanização das práticas silviculturais é uma medida de caráter irrevogável, haja vista a necessidade de incremento de produção e ampliação da área florestada em nosso país. Algumas sugestões no caso de se prevenir a compactação devido à utilização de máquinas podem ser dadas, como o chamado “controle de tráfego” que significa restringir a movimentação de veículos a uma menor área, diminuindo os efeitos no desenvolvimento das culturas; ou mesmo o desenvolvimento de máquinas que realizassem diversas operações de preparo de solo a um só tempo, diminuindo a movimentação de equipamentos pesados sobre o solo. Outro tipo de controle é confinar o tráfego de veículos às épocas quando o solo é menos sensível à compactação. Por exemplo, quando os solos estão secos, eles são mais resistentes à compactação (BRADSHAW, 1979). Nessa mesma linha, Staaf e Wiksten (1984) recomendam que se deixe uma

camada de galhos e folhas no caminho dos veículos de transporte de madeira para se diminuir os danos às raízes.

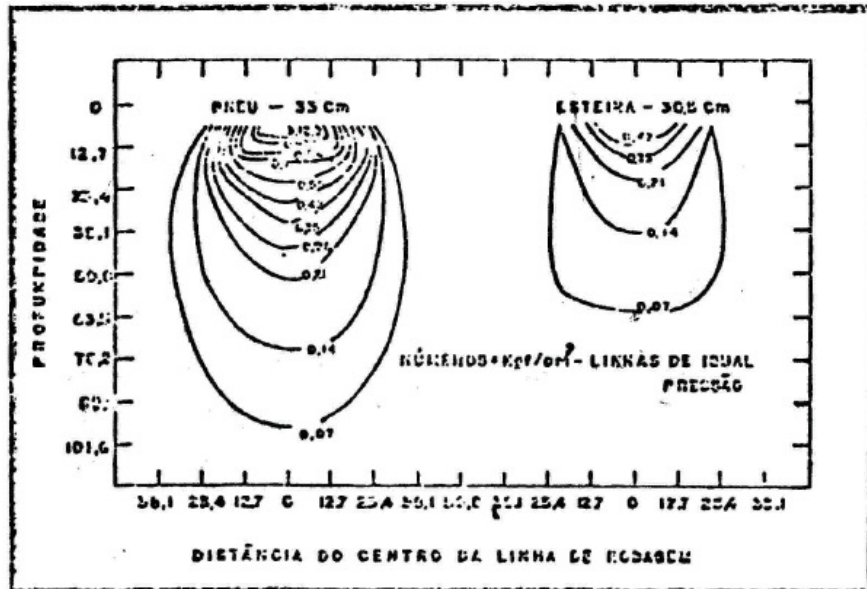


Figura 13. Linhas de mesma pressão perpendiculares à direção de caminhamento para um trator de pneus e um de esteiras com pesos totais iguais (REAVES e COOPER, 1960).

Outra providência para diminuir a compactação ou confiná-la a profundidades menores, é de que os pneus dos veículos devem possuir uma carcaça flexível, baixa pressão de inflagem, diâmetro largo e uma maior largura. Logicamente, todos esses itens dificilmente serão satisfeitos ao mesmo tempo, mas a otimização de um desses fatores irá minimizar a compactação.

Já quanto à recuperação dos solos fisicamente degradados pelo cultivo, a mesma pode ser obtida através de práticas culturais e mecânicas. As práticas culturais consistem no emprego de plantas que possuem o sistema radicular com capacidade de recuperação da estrutura e penetração em camadas compactadas do solo, utilizadas em sistema de rotação de culturas com o aproveitamento dos restos culturais como adubação orgânica. Entre as práticas mecânicas encontram-se a lavra, escarificação, gradagem e, em alguns casos especiais, a subsolagem. A Tabela 4 a seguir indica as condições características do solo e respectivos tratamentos corretivos, bem como o limite das propriedades físicas que serão melhoradas.



Tabela 4. Condições características do solo para aplicação de tratamentos corretivos e limite de propriedades físicas que serão melhoradas (ASAE, 1981).

Características do local	Tratamento	Fatores limites modificados
Áreas alagadas	Drenagem	Incrementar aeração; auxiliar traficabilidade
	Bedding	Melhorar aeração e estrutura do solo.
Excesso de escoamento superficial ("run-off")	Terraceamento	Impede "run-off" superficial.
	Ripagem e Subsolagem	Impede "run-off" superficial; incrementa infiltração e permeabilidade; reduz competição
Superfície do solo; alta resistência do solo, estrutura massiva, compactação / cimentação	Discos, Bedding, Ripagem e Subsolagem	Melhorar aeração; reduzir resistência do solo; melhorar infiltração/permeabilidade; reduzir competição.
Sub-solo: alta resistência do solo, estrutura massiva, camada compacta rasa	Ripagem e Subsolagem	Reduzir resistência do solo; melhorar infiltração e permeabilidade.
Superfície de solo pedregoso, argiloso, etc.	Ripagem e Subsolagem	Orientação de pedras; melhora na qualidade e facilidade de plantio.

8. Comentários gerais

A falta de tradição na atividade florestal em nosso país dificulta a formação e a manutenção de pessoal com maior estabilidade empregatícia nas empresas, concorrendo com outras áreas agrícolas com melhor remuneração de serviços e enfrentando o acentuado êxodo rural. Mesmo em países de maior tradição, o trabalho florestal foi sendo preterido por áreas com serviços mais leves e com maiores possibilidades de se alcançar um status social mais elevado (CONWAY, 1976).

A mecanização das operações propicia a especialização dos trabalhadores, aumentando-lhes a importância dentro da empresa e elevando-lhes os salários, o que lhes dará maior satisfação com o próprio emprego. Por outro lado, a empresa também deve fornecer infra-estrutura de apoio em termos de educação, segurança, alimentação e assistência médica, pois para lidar com equipamentos de alto investimento deverá contar com trabalhadores especializados e bem



preparados física e psiquicamente, além de dificultar a mudança de emprego com o fornecimento de tantas vantagens. Em virtude do pequeno número de pessoal especializado, verifica-se uma alta rotatividade de empregos, com a empresa perdendo o investimento feito em treinamento, o que reforça a necessidade de se pensar no fornecimento de subsídios adicionais.

Outro fator a ser considerado é o processo de “terceirização” que assumiu um papel de destaque no começo da década de 90. Visto pelas empresas como uma maneira de reduzir custos, ao voltarem-se unicamente para a atividade fim (ex. fabricação de celulose), esse processo transferiu aos “terceiros” a responsabilidade do investimento em mecanização. Descapitalizado, esse empresário deve contar com o apoio das empresas para que novas tecnologias possam ser adquiridas e colocadas a serviço da própria empresa. Trata-se aqui de um processo de parceria promovendo-se a especialização das atividades de colheita de madeira e o fortalecimento dos empresários e trabalhadores do setor.

9. Bibliografia

- ANDERSSON, S.; LAESTADIUS, L. Efficiency in highly mechanized wood harvesting systems. In: Simpósio sobre exploração, transporte, ergonomia e segurança em reflorestamentos. Curitiba, UFPR, 1987. p. 133-43.
- ASAE. Forest Regeneration. St. Joseph, ASAE, 1981.
- ARAÚJO, V.C. de. Uma observação de regeneração natural. Manaus, INPA, s.d. 5p.
- BACCHI, O.O.S. Efeitos da compactação sobre o sistema solo-planta em cultura de cana-de-açúcar. Dissertação de Mestrado, ESALQ, 67 p. 1976.
- BENSON, R.E.; CONSIOR, M.J. Tree damage from skyline logging in western larch/douglas-fir stand. USDA. Forest Service INT research paper. Ogden, (268): 1-15, fev. 1981.
- BRADSHAW, G. Preplanned skid trails and winching versus conventional harvesting on a partial cut. OSU School of Forestry. Res. Note 62. 1979.
- CONWAY, S. Logging practices: principles of timber harvesting systems. San Francisco, Miller Freeman, 1976. 416p.
- EQUIPE TÉCNICA DA DURATEX. Utilização do “timber-hauler” no transporte de madeira a curta distância. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 4., Campinas, 1999. **Anais**. Viçosa: SIF, UFV, 1999. p. 1-13.
- FREITAS, M.; ANTIQUEIRA, A.C. Sistema mecanizado de colheita florestal na Champion Papel e Celulose Ltda. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., Curitiba, 1993. **Anais**. Curitiba: SBS, SBEF, 1993. v.2, p. 686-7.



- FRYK, J.; LARSSON, M.; MYHRMAN, D.; NORDANSJÖ, I. Forest operations in Sweden. Oskarshamn: Tryckeri AB Primo, 1991. 59 p.
- GRAMMEL, R.H. Recentes desenvolvimentos na colheita de madeira e sua repercussão na rede viária florestal. In: DIETZ, P. Curso de atualização sobre sistemas de exploração e transporte florestal. Curitiba, FUPEF, 1983. P. 48-56.
- HAKKILA, P.; MALINOVSKI, J.R.; SIRÉN, M. Possibilidades de mecanização na exploração florestal – comparação entre Brasil e Finlândia. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 7, Curitiba, 1992. *Anais*. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1992. p.120-36.
- JONES, G.T. A guide to logging aesthetics. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, NRAES-60, Ithaca, N.Y. 29 p. 1993.
- LEINONEN, A. Harvesting technology of forest residues for fuel in the USA and Finland. Espoo 2004. VTT Tiedotteita . Research Notes 2229, 2004. 132 p.
- LEITE, N. B. O Setor Florestal Brasileiro. Disponível em: <http://www.sbs.org.br> – Workshop SBS, 2003. Rio de Janeiro/RJ. Acesso em outubro de 2006.
- LOFFLER, H. Developments and trends in forest harvesting – Tasks for research. Mededeling Communication, Stellenbosh, 98 (part 1): 32-47, 1982.
- LONNER, G. Desenvolvimento de sistemas de exploração florestal (logging) no Brasil. In: CONVENÇÃO ANUAL. ABCP, 9 São Paulo, 1976. Trabalhos técnicos. São Paulo, 1976. 12 p.
- MACHADO, C. C. ; LOPES, E. S. Planejamento. In: Carlos Cardoso Machado. (Org.). Colheita Florestal. 1 ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 2002, v. 1, p. 169-214.
- MAKKONEN, I. Evaluation of Timberjack 230 8-ton forwarder. FERIC Technical Note 140. FERIC Pointe Claire, 6 p., 1989.
- MALINOVSKI, R.A.; MALINOVSKI, J.R. Evolução dos sistemas de colheita de *Pinus* na região sul do Brasil. Curitiba: FUPEF, 1998. 138 p.
- McCARY, J. Steady pace. Timber Harvesting, Montgomery, AL. March: 12-4. 1991.
- REAVES, C.A.; COOPER, A.W. Stress distribution in soils under tractor loads. Agr. Eng., 41:20-1, 31p. 1960.
- SALMERON, A. Mecanização da exploração florestal. Circular Técnica, IPEF, Piracicaba, (88):1-10, jan. 1980.
- SALMERON, A.; RIBEIRO, R.S. Colheita mecanizada de eucaliptos em regiões acidentadas. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 10., Curitiba, 1997. *Anais*. Curitiba: UFPR, FUPEF, 1997, p. 165-181.
- SEIXAS, F. Estudo comparativo entre dois sistemas operacionais de exploração de madeira sob corte raso em florestas implantadas, utilizando toras de



- diferentes comprimentos. Campinas, 1985. 144 p. (Dissertação- Mestrado- Unicamp).
- SEIXAS, F. Exploração e transporte de *Eucalyptus* spp. IPEF, Piracicaba, 1987. 40p.
- SBS. Fatos e números do Brasil florestal. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>. 2006. 109 p. Acesso em outubro de 2007.
- STAAF, K.A.G.; WIKSTEN, N.A. Tree harvesting techniques. Dordrecht, Martinus Nijhoff Publishers, 1984. 317p.
- STENZEL, G.; WALBRIDGE, T.A.; PEARCE, J.K. Logging and pulpwood productions. New York, John Wiley & Sons, 1985. 358p.
- STOKES, B.J.; WATSON, W.F. Wood recovery with in-woods flailing and chipping. **Tappi Proceedings, Pulping Conference**, p. 851-854, 1990.
- THOR, M. Productivity just continues to rise. Skogforsk News, Uppsala, No. 1, p.3. 2008.
- VITAL, A.R.T. Efeito do corte raso no balanço hídrico e na ciclagem de nutrientes em uma microbacia reflorestada com eucalipto. Dissertação de Mestrado, ESALQ, Piracicaba, 1996. 106 p.



CAPÍTULO II. EFEITOS DA COLHEITA FLORESTAL

1. Introdução

As operações de colheita florestal significam um processo de intervenção marcante em um povoamento florestal e no ecossistema como consequência, não sendo possível que ocorra a retirada de madeira sem que haja algum impacto. O primeiro e um dos mais importantes efeitos refere-se à compactação do solo, mas existem também efeitos sobre a floresta remanescente, quando for o caso, cursos d'água adjacentes, vida silvestre, populações vizinhas, a paisagem e outros. A colheita de madeira é inevitável, mas a redução do nível desses impactos é possível, minimizando seus efeitos com vistas à manutenção da sustentabilidade florestal e a qualidade ambiental.

Trabalhos sobre compactação vêm sendo feitos já há vários anos, mas ainda faltam mais dados que quantifiquem seus efeitos diretos, como exemplo, sobre a regeneração e condução da nova floresta, e indiretos, como a sedimentação de cursos d'água resultante da erosão laminar causada pela dificuldade de infiltração de água no solo compactado. Esse é um dos aspectos, mas há também a preocupação com o vazamento de combustíveis e óleos lubrificantes, a reciclagem das máquinas e equipamentos florestais, o nível de ruído das operações em áreas vizinhas às comunidades, a conservação de algum atrativo cênico, o cruzamento de cursos d'água, impactos em áreas de preservação e conservação etc.

2. Compactação do solo

A compactação envolve um novo arranjo e aproximação das partículas sólidas do solo e, conseqüentemente, aumento da densidade do mesmo devido a redução da porosidade. Com isso, as taxas de infiltração de água são menores e mais lentas, bem como há maior resistência mecânica ao crescimento radicular (SEIXAS, 1988). Este termo é utilizado para descrever a condição geral do sítio florestal após as operações mecanizadas, embora diversas outras alterações, incluindo distúrbios e deslocamento do solo, também possam ocorrer .

A energia necessária para compactar o solo pode ser obtida do impacto da chuva, crescimento das raízes da planta, tráfego de homens e animais, do peso da

vegetação e do próprio solo. Contudo, as principais forças causadoras da compactação em solos florestais originam-se das máquinas utilizadas nas atividades de silvicultura e colheita da madeira. Ultimamente, a intensificação da mecanização tem gerado uma maior preocupação quanto aos possíveis efeitos no solo.

2.1. Indicadores da compactação do solo

A compactação do solo reduz a quantidade de macroporos, espaço poroso responsável pela aeração do solo, e aumenta a proporção de microporos. Como consequência, ocorre um decréscimo na taxa de difusão de oxigênio através do solo e aumenta-se a tenacidade com que a umidade do solo é retida (DONNELLY e SHANE, 1986; REISINGER et al., 1988; MUROSKI e HASSAN, 1991). Vomocil e Flocker (1961) concluíram que um valor mínimo crítico para os macroporos é de 10%.

Um aumento na densidade é representativo do impacto do tráfego de máquinas na compactação do solo. Mudanças na densidade do solo servem como índices das mudanças nas propriedades físicas que regulam o crescimento das raízes. A relação entre densidade e o crescimento da planta é uma associação antes do que causa e efeito. A interpretação dos efeitos da compactação deve ser feita considerando-se uma mudança em porcentagem nos valores médios de densidade (FROEHLICH e McNABB, 1984; GEIST et al., 1989). O nível de compactação considerado prejudicial, em solos de países de clima temperado, está por volta de um acréscimo entre 15 a 20% no valor inicial da densidade média do solo (GEIST et al., 1989).

Voorhees et al. (1978) destacam que leituras de penetrômetro (Índice de Cone), avaliando a resistência à penetração do solo, são medidas mais sensíveis da compactação do que a densidade do solo, haja vista que as medições por meio de penetrômetros possuem a vantagem da maior facilidade de coleta no campo, possibilitando um grande número de pontos de amostragem (Figura 1). Camargo e Alleoni (2006) adaptaram a Tabela 1, a partir de dados de Canarache (1990), com valores limites de resistência de solos ao crescimento de raízes.



Figura 1. Penetrômetro geo-referenciado PNT-2000 (Foto: DLG Automação).

Tabela 1. Limites de classes de resistência de solos à penetração e graus de limitação ao crescimento das raízes (CAMARGO e ALLEONI, 2006).

Classes	Limites	Limitações ao crescimento das raízes
	MPa	
Muito baixa	< 1,1	Sem limitação
Baixa	1,1 a 2,5	Pouca limitação
Media	2,6 a 5,0	Algumas limitações
Alta	5,1 a 10,0	Sérias limitações
Muito alta	10,1 a 15,0	Raízes praticamente não crescem
Extremamente alta	> 15,0	Raízes não crescem

As desvantagens do uso do penetrômetro incluem a influência da presença de raízes e pedras no solo e os efeitos da umidade do solo nas leituras, cujo aumento geralmente implica na diminuição da resistência ao penetrômetro. A utilidade do penetrômetro em avaliações comparativas da compactação do solo fica restrita à medições feitas no mesmo solo, em um mesmo teor de água. Outra desvantagem refere-se à velocidade de penetração da haste, que deve ser constante, 1820 mm/min, independentemente da resistência oferecida pelo solo (ASAE, 1984). Stolf et al. (1983) propuseram a utilização de um penetrômetro de impacto (Figura 2) destacando as vantagens quanto ao menor custo de aquisição, a não necessidade de calibração, inexistência de influência quanto ao usuário e robustez do equipamento, facilitando o uso no campo. A resistência do solo à penetração (R) pode ser determinada até à profundidade de 60 cm, transformando-se o número de impactos do penetrômetro através do perfil do solo em kPa, por meio da fórmula (STOLF, 1991):

$$R = 549,2 + 675,7 N$$

onde:

R é a resistência do solo à penetração em kPa; e

N é o número de impactos por decímetro.

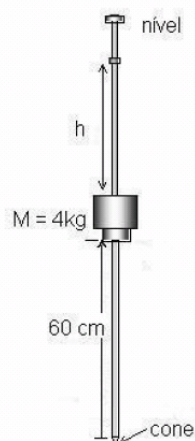


Figura 2. Penetrômetro de impacto modelo Stolf.

2.2. Fatores influenciando a compactação

Os fatores que influenciam o nível de compactação incluem: a quantidade e distribuição da camada orgânica superficial e resíduos de exploração; textura e estrutura do solo; porcentagem de umidade do solo; peso e função de uma máquina; tamanho da roda e deslizamento; velocidade do equipamento; tipo de carga; experiência do operador; topografia; e clima (BURGER, 1983; SIROIS et al., 1985).

Teor de água

Os efeitos do teor de água alteram-se com as características do solo e o esforço de compactação aplicado sobre o mesmo. Se a porcentagem de umidade aumenta, a resistência à compactação diminui, devido à maior lubrificação das partículas, até que se atinja os limites plásticos inferiores e o conteúdo de umidade de aração ótimo, onde o pico de compactação ocorre. Acima do conteúdo de umidade ótimo, próximo do ponto de saturação de cada tipo de solo, o aumento da umidade resulta em uma redução da densidade, chegando mesmo a causar a destruição da estrutura do solo (WEAVER e JAMISON, 1951; SIDLE e DRLICA, 1981). A umidade do solo afeta mais a compactação próximo ao potencial de água ao redor da capacidade de campo, quando as mudanças na estrutura do solo estão mais propensas a ocorrerem (BRAUNACK e DEXTER, 1978).

O teor de água no momento em que o solo está sendo compactado tem uma grande influência na redução e redistribuição do espaço poroso. Solos secos são mais resistentes à mudanças na distribuição do tamanho dos poros e essa resistência reduz-se com o aumento do conteúdo de umidade (EAVIS, 1972). As propriedades físicas do solo são impactadas em escala maior em áreas exploradas sob condições úmidas (conteúdo gravimétrico de umidade > 10%) do que áreas mais secas (Figura 3).



Figura 9. Distúrbio acentuado do solo causado pela presença de teor elevado de água e movimentação inadequada do forwarder.

Os valores de índice de cone obtidos devido ao tráfego de um módulo “harvester + forwarder” em dois solos seco ($U=10\%$) e mais úmido ($U=28\%$), com teores de argila de 28 e 34% respectivamente, permite exemplificar a maior compactação ocorrida na condição mais úmida, comparativamente à alteração devido ao tráfego das máquinas no solo seco, com maior capacidade de suporte (Figura 4).

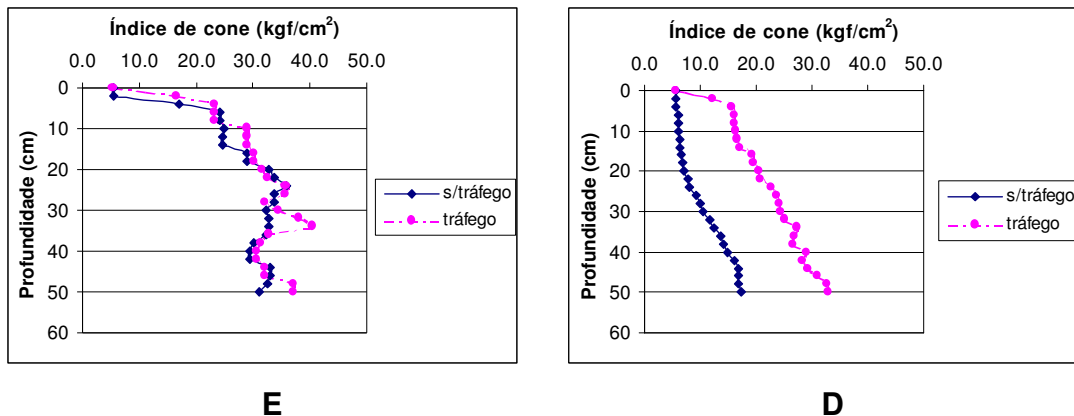


Figura 4. Índice de cone em declive entre 15 e 25% após tráfego do harvester e forwarder em solo argiloso seco ($U=10\%$ E) e argiloso úmido ($U=28\%$ D) (SEIXAS e OLIVEIRA JR., 2001).

Um método usual para minimizar a compactação do solo é restringir as operações das máquinas com base na textura ou condições de umidade, que envolve a interpretação de um teste de compactação emprestado da engenharia (Teste de Proctor). O teste produz uma curva densidade-umidade que é específica para o solo; ela é, porém, uma função da pressão aplicada no solo. Com o decréscimo no esforço de compactação, o pico da curva densidade-umidade ocorre a uma densidade aparente menor e em um maior conteúdo de umidade. Portanto, se esse teste é para prover informações sobre como a textura e umidade do solo afetam a compactação, a curva densidade-umidade deve representar condições específicas do sítio.

As curvas densidade-umidade obtidas pelo teste de Proctor superestimam as densidades aparentes normalmente produzidas pelas máquinas de colheita e subestimam o conteúdo ótimo de umidade (Figura 5). Um outro problema do teste refere-se à desestruturação do solo para o preparo da amostra. Uma alternativa é um modelo de compressibilidade proposto por Dias Júnior (1994) que prediz a pressão máxima que o solo pode suportar para diferentes graus de umidade, sem causar compactação adicional, tomando como base a pressão de pré-consolidação. Esse processo de análise trabalha com amostras indeformadas de solo, possibilitando a obtenção de resultados mais representativos da situação de campo.

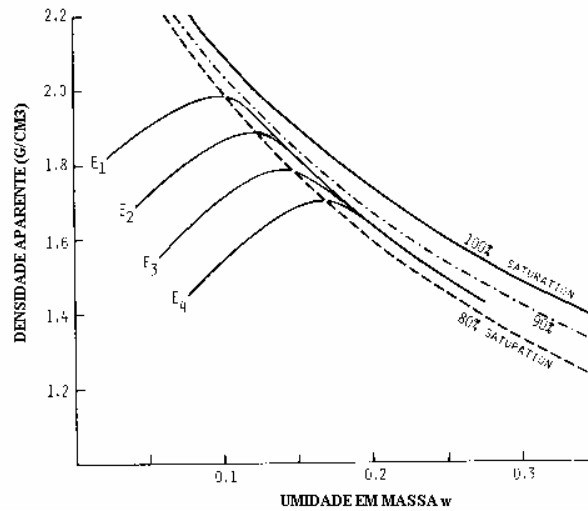


Figura 5. Família de curvas densidade-umidade para diferentes esforços de compactação ($E_1 > E_2 > E_3 > E_4$) (HILLEL, 1982).

Pressão no solo

A distribuição da pressão no solo sob as rodas dos veículos irá depender de: a) peso do veículo, que irá determinar a força total sobre o solo; b) área de contato entre a roda e o solo, que irá determinar a pressão; c) distribuição da força na área de contato; e d) conteúdo de umidade e densidade inicial (Soenne, 1958, apud BACCHI, 1976). Kerruish (apud GREACEN e SANDS, 1980) apresenta alguns dados sobre as pressões de contato aproximadas para algumas máquinas florestais na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de pressão de contato para máquinas florestais.

EQUIPAMENTO	PRESSÃO (kPa)
Sistemas de cabo, teleféricos	0
“Skidder” de esteiras flexíveis	30-40
Trator de esteiras	50-60
“Skidder” de pneus	55-85
“Forwarder” com eixo duplo traseiro	85-100
“Forwarder” com eixo simples traseiro	105->125

Nas operações florestais, geralmente o eixo traseiro das máquinas suporta maior carga do que o frontal. No caso de um “skidder” JD 740 de 6,5 t, operando com carga máxima, estimou-se uma pressão de aproximadamente 26 kPa sob os pneus dianteiros e cerca de 80 kPa sob os pneus traseiros. Além disso, tensão de cisalhamento também é gerada pelos pneus e outros tipos de rodado, adicionando-se à tensão causada pelas atividades de movimentação de toras, resultando aproximadamente em forças de 80 kPa. Isto pode ter um efeito de compactação de mais do que o dobro da carga estática normal.

Porém, o efeito no solo poderá não ser muito pronunciado, principalmente em função das condições de umidade e tipo de solo. O tráfego de um módulo “feller-buncher + skidder” em um Neossolo Quartzarênico com 10% de teor de água, registrou um aumento da resistência do solo até 20 cm de profundidade, sem contudo atingir o limite de 3,0 Mpa (30,0 kgf.cm⁻²), teoricamente considerado como crítico para o crescimento do sistema radicular do eucalipto (Figura 6).

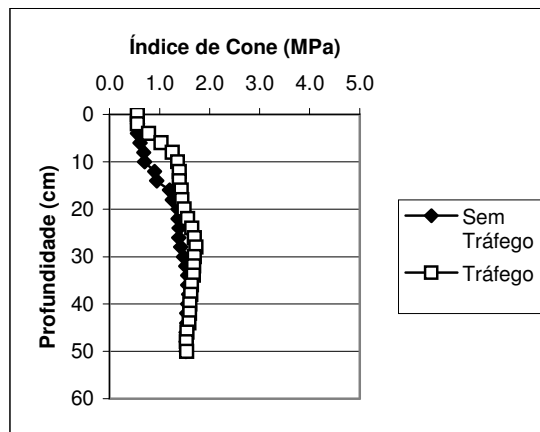


Figura 6. Índice de cone para tráfego do módulo “feller-buncher + skidder” em um solo Neossolo Quartzarênico úmido (SEIXAS e OLIVEIRA JR., 2001).

Para o cálculo da pressão de contato, a determinação do peso pode ser feita com uso de uma balança. A dificuldade está na determinação da superfície de contato, inclusive pelo afundamento do pneu no solo em função da sua resistência. A fórmula seguinte é aceita por diversos cientistas para a determinação dessa superfície de contato, com a pressão sendo medida em unidade Pascal:

$$\text{Pressão} = \text{Carga [kgf]} / (\text{Raio Pneu}^* \times \text{Largura Pneu}^*) [\text{cm}^2] = \text{kgf/cm}^2 \times 100 = \text{kPa}$$

Terreno

(*) As medidas do pneu devem ser obtidas sem carga

Na realidade, esta fórmula subestima a pressão no terreno já que espera uma substancial penetração no solo, isto é, a superfície de contato é superestimada. Contudo, se a fórmula for usada para comparação de diferentes máquinas os resultados serão razoáveis (WÄSTERLUND, 1994). Para trator de esteiras, calcula-se a pressão na superfície do solo, dividindo-se o peso da carga (ou peso total da máquina) pelo produto da largura da esteira pela distância entre os eixos.

Número de passadas de máquinas

McNabb e Froehlich (1983) constataram que a maior parte da compactação total em uma trilha de arraste ocorria nas primeiras passadas de uma máquina. Pelo menos 60% do aumento esperado para a densidade em uma trilha com uso elevado (mais de 20 passadas) ocorriam após as primeiras 3 a 5 passadas. Esses resultados foram confirmados por Hatchell et al. (1970), Froehlich e McNabb (1984) e Koger et al. (1985). Seixas e Souza (1998) observaram que cerca de 80% do adensamento total do solo, ocorrido após 20 passadas de um trator mais carreta carregada de madeira, resultaram das 5 primeiras viagens deste equipamento, não havendo incremento devido ao tráfego subsequente (Figura 7).

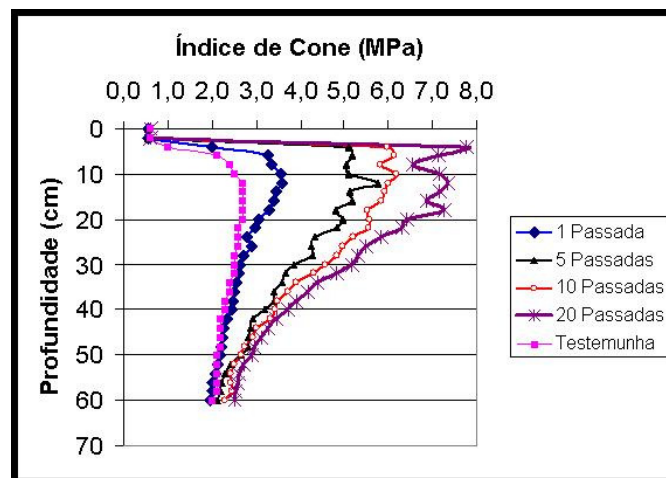


Figura 7. Índice de cone (MPa) para diversas frequências de tráfego de um trator equipado com grua + carreta (Peso = 8 t) (Adaptado de SEIXAS e SOUZA, 1998).

Com isso, se o tráfego de veículos dentro do talhão se restringir à menor área possível, o alcance dos efeitos da compactação sobre o povoamento florestal poderá diminuir, mesmo com tráfego mais intenso nestas áreas. Este controle já é mais facilitado em sistemas de colheita de madeira com forwarder, com o transporte sendo feito de maneira mais sistematizada (Figura 8), mas encontra uma certa dificuldade no caso do arraste das toras por meio do skidder. Neste caso, o operador determina o deslocamento do trator de acordo com as

características de relevo e localização dos feixes de árvores formados pelo feller-buncher

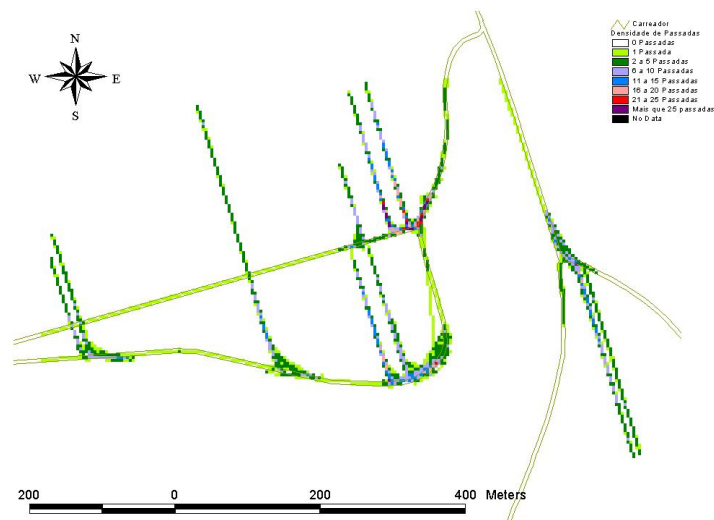


Figura 8. Representação do tráfego do forwarder acompanhado por GPS (SEIXAS et al., 2003).

Tamanho do pneu

Os pneus mais largos distribuem o peso da máquina sobre uma maior superfície de contato, resultando assim em menor pressão no terreno, o que ocasiona menor compactação do solo (Figura 9a), mas ainda podem causar compactação em camadas profundas caso as cargas nos eixos sejam altas (Figura 9b) (DUIKER, 2004). Greene e Stuart (1985) concluíram que a compactação em solos secos não reduziu-se devido ao uso de uma máquina de menor tamanho ou o aumento das dimensões do pneu. Porém, quando os solos eram úmidos, o aumento no tamanho do pneu reduziu significativamente a compactação na camada superficial do solo. Os pneus mais largos melhoram a colheita florestal e reduzem os distúrbios no solo, em algumas situações de maior umidade no solo, mas ainda necessitam um planejamento adequado e uma avaliação precisa para comparar as suas vantagens com o seu maior custo de aquisição (HEIDERSDORF e RYANS, 1986).

O uso de pneus mais largos ou pneus duplos em “skidders” tem sido avaliado visando a redução de danos ao sítio. Benefícios potenciais do uso de pneus mais largos de alta flutuação (34 a 68") sobre pneus convencionais mais estreitos incluem: aumento da produtividade em solos úmidos e terrenos inclinados mais acidentados, economia de combustível, reduções substanciais nos distúrbios do terreno (sulcamento) e compactação e melhoria na estabilidade (MELLGREN e HEIDERSDORF, 1984). O aumento no diâmetro do pneu irá diminuir o esforço de tração, enquanto que o acréscimo na largura do pneu pode reduzir o esforço de tração que é necessário devido ao aumento na flutuação e redução na resistência ao rolamento (MAKKONEN, 1989). Oliveira Júnior (1998) observou o impacto

causado por um trator agrícola e carreta de dois eixos em tandem, avaliando o uso de dois tipos de pneus na carreta: um estreito com 20 cm de largura (11,00-22”) e outro largo com 50 cm de largura (500/50-22,5”), e concluiu pela vantagem do pneu mais largo devido à redução no incremento da densidade do solo em cerca de 7%.

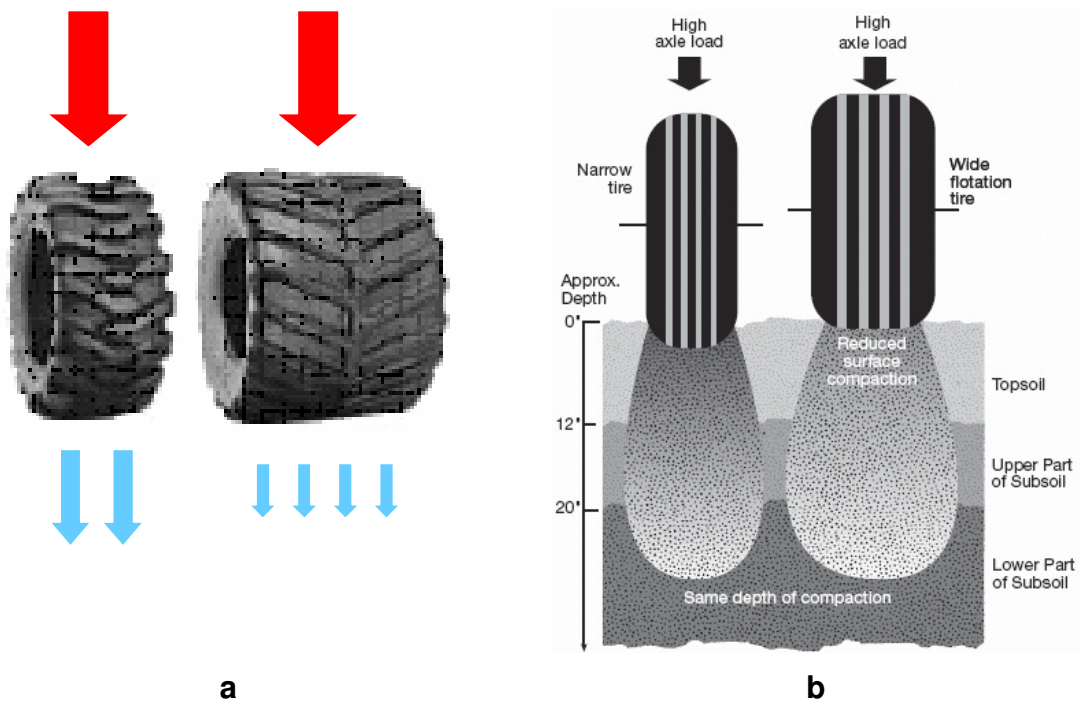


Figura 9. Pneus mais largos distribuem o peso da máquina sobre uma maior superfície de contato, resultando assim em menor pressão no terreno (a), mas ainda podem causar compactação em camadas profundas do solo caso as cargas nos eixos sejam altas (b).

Pressão de insuflagem

Na pressão indicada, um pneu tem o mais longo comprimento utilizável e a maior área de contato, o que resulta na maior capacidade de tração e menor pressão de contato no solo. Em pressões menores o pneu sofre uma deflexão excessiva e prejudicial (WILEY et al., 1992). Erbach e Knoll (1992) concluíram que aumentando-se a pressão de contato de um mecanismo de tração, assim como aumentar a pressão de insuflagem de pneus, irá aumentar a densidade do solo. O efeito do aumento da pressão de contato tende a ser maior quando a carga aumenta.

Raper et al. (1993, a) desenvolveram estudos para avaliar os efeitos das novas tabelas de "pressão de insuflagem - carga permitida" na deformação do solo e força de contato. Um aumento na pressão de insuflagem dos pneus causou um decréscimo na largura do sulco resultante da passagem do pneu, comprimento e

área de contato. Os pneus com insuflagem correta apresentaram melhorias com respeito a tração líquida e a eficiência de tração (RAPER et al., 1993 b).

Estudo feito por Eliasson (2005) avaliou os efeitos da pressão de insuflagem em pneus de forwarder no sulcamento e compactação de um solo areno-siltoso após corte final de uma floresta de Norway spruce (*Picea abies*). Foram estudadas três pressões de pneus, 300, 450 e 600 kPa, após uma e quatro passadas do trator, com peso total de 37,8 t. A profundidade dos sulcos e a densidade do solo não foram significativamente afetadas pela pressão dos pneus, mas aumentaram com o aumento do número de passadas do forwarder (Tabela 3). Contudo, em carregadores secundários, não trafegados mais do que uma vez pelo forwarder, a baixa pressão de insuflagem dos pneus reduziu a compactação do solo. A ausência de um efeito mais significativo da pressão dos pneus do forwarder, quando comparado com os efeitos benéficos já relatados no setor agrícola, pode ser devido ao fato da menor pressão utilizada (300 kPa) ainda ser comparativamente alta em relação à geralmente utilizada em pneus agrícolas (100 kPa). A necessidade de maior pressão em pneus florestais deve-se à maior carga e presença de tocos e pedras que podem danificar os pneus. O uso de esteiras nos pneus em “bogie” (Figura 10) também impede o uso de uma pressão de insuflagem menor para evitar danos aos pneus.

Tabela 3. Aumento na densidade do solo (Mg m^{-3}) causado por 1 e 4 passadas do forwarder com 3 diferentes pressões nos pneus (ELIASSON, 2005).

Passadas do forwarder	Pressão do pneu (kPa)		
	300	450	600
1	0,030a	0,033a	0,083a ^x
4	0,093b ^x	0,144b ^x	0,111a ^x

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são diferentes significativamente. Médias seguidas por um ^x são significativamente diferentes de 0.



Figura 10. Eixos traseiros do forwarder Timberjack 1410D em “bogie” equipados com esteiras.



Camada de resíduos

Wronski (1990) concluiu que camadas de resíduos florestais proporcionavam uma redução significativa na formação de sulcos e aumento na capacidade de suporte do solo. Para cada 10 kg/m² adicionais de resíduo, colocados sobre outros 10 kg/m², havia um aumento aparente de 25% na resistência do solo. Seixas et al. (1995) detectaram reduções significativas na compactação do solo devida a um “forwarder” trafegando sobre camada de resíduos da colheita de madeira. Coberturas de galhos e acículas com densidades de 10 e 20 kg/m² reduziram em média cerca de 40% do incremento na densidade do solo observado em parcelas sem cobertura.

O tráfego de um trator agrícola equipado com grua mais carreta, utilizado para transporte de madeira, sobre camadas de resíduos (10 kg.m⁻² de casca, galhos e folhas) da colheita de *Eucalyptus grandis*, reduziu em média 56% do nível de compactação, medido através da densidade do solo, até 17 cm de profundidade do solo (Tabela 4). Ainda assim, os valores de resistência à penetração do solo (Figura 11) registraram uma compactação que poderia ser prejudicial ao desenvolvimento das raízes na camada entre 12 e 30 cm do perfil do solo (SEIXAS et al., 1998).

Tabela 4. Resultados de densidade do solo pré e pós tráfego (SEIXAS et al., 1998).

Profundidade		Solo com cobertura		Solo sem cobertura	
		Densidade* (g/cm ³)	Umidade (%)	Densidade* (g/cm ³)	Umidade (%)
5-10 cm	Pré	1,45	8,3	1,29	8,7
	Pós	1,73	9,5	1,75	8,6
	Dif. (Δ%)	0,28 (15%) ^a		0,46 (27%) ^b	
12,5-17,5 cm	Pré	1,53	8,8	1,40	9,0
	Pós	1,68	9,0	1,74	8,6
	Dif. (Δ%)	0,15 (8%) ^a		0,34 (19%) ^b	

(*) A análise de variância não foi efetuada entre as diferentes profundidades.
 Os incrementos médios seguidos da mesma letra não diferem entre si (p < 0.001)

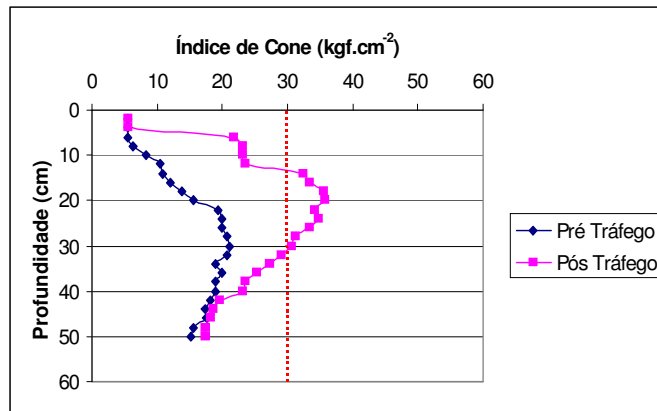
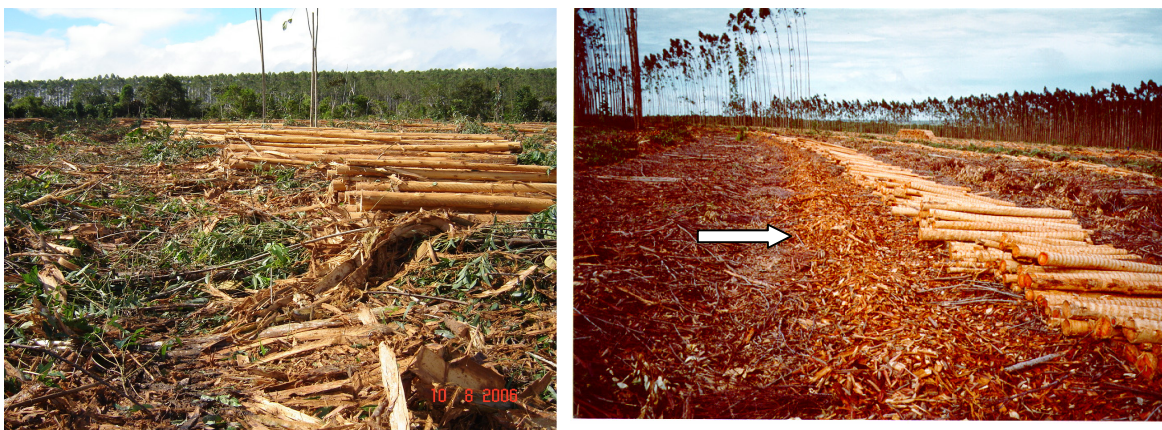


Figura 11. Valores médios de resistência à penetração do solo obtidos a partir do tráfego sobre camada de cascas, galhos e folhas (SEIXAS et al., 1998).

Uma das vantagens do módulo “harvester+forwarder” é a possibilidade do harvester dispor os resíduos da colheita, galhos, folhas, topos e casca, sobre a trilha por onde ambas as máquinas irão trafegar (Figura 12E). Essa camada de resíduos atua como uma zona de amortecimento da pressão aplicada sobre o solo, podendo reduzir o nível de compactação causado pelo deslocamento de máquinas sobre o solo. A operação de descascamento utilizando-se de descascadores móveis também proporciona a deposição da casca em parte da trilha por onde se deslocarão os equipamentos de extração de madeira (Figura 12D). Outro aspecto vantajoso é de que essa matéria orgânica e os nutrientes nela contidos permanecerão dentro do povoamento florestal.



E

D

Figura 12. Distribuição de resíduos pelo harvester (E) ao longo da trilha pela qual o forwarder também irá trafegar durante a extração da madeira e deposição de casca resultante da operação de descascamento por máquinas móveis (D).

Em áreas de reforma florestal (replanteio em área florestal cultivada anteriormente), a camada de resíduos poderá causar problemas para o deslocamento do subsolador utilizado no preparo do solo nas entrelinhas. Comumente a operação tem que ser interrompida para a retirada de galhos acumulados juntos a haste. Outra operação prejudicada nessas circunstâncias, é o plantio mecanizado, que requer maior uniformidade e limpeza do terreno. A trituração prévia dos resíduos com implementos específicos pode solucionar o problema (Figura 13).

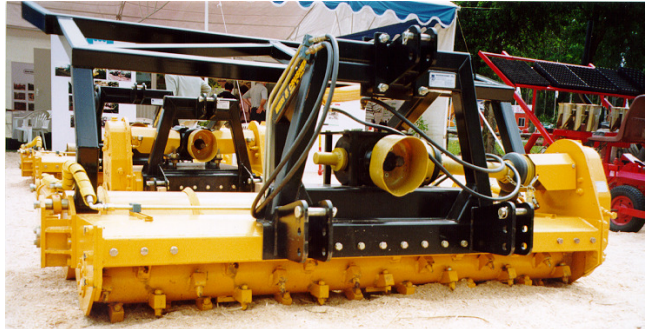


Figura 13. Implemento Mericrusher para trituração de galhada e rebaixamento de tocos.

Se o problema for também a presença de tocos em grande número, a intervenção irá exigir equipamentos de maior porte que realizem a trituração da galhada e o rebaixamento de tocos (Figura 14). Sugere-se, alternativamente, a redução da altura dos tocos, que pode ser obtida através da substituição do conjunto de corte, em alguns equipamentos de colheita, ou pela simples orientação ao operador da máquina, quando o cabeçote processador permitir cortes mais próximos à superfície do solo.



Figura 14. Implemento modelo Magnum 500 utilizado para trituração de galhadas e rebaixamento de tocos.



3. Efeitos da compactação

3.1. Efeitos da compactação nas propriedades físicas do solo

Um aumento na resistência do solo é um dos mais marcantes efeitos da compactação, mas a relação entre a densidade aparente e a resistência do solo é bastante complexa. Em solos de texturas similares, a rugosidade da superfície das partículas aumenta a fricção entre partículas e, conseqüentemente, a resistência do solo à movimentação mais do que no caso de partículas com a superfície mais lisa. Por exemplo, a resistência ao penetrômetro (um método indireto de medida da resistência do solo) de quatro solos com textura média a grosseira no sudeste dos EUA aumentou com o decréscimo do potencial de umidade de -20 a -67 J/kg, embora a densidade aparente permanecesse constante (TAYLOR e BRUCE, 1968).

Quando o solo é compactado, a porosidade total é reduzida às expensas dos macroporos, isto é, poros que são drenados na capacidade de campo nominal. Uma redução continuada no volume e forma dos macroporos pode inibir as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, se esta é feita por fluxo de massa ou difusão. Os microporos são menos afetados pela compactação e a sua proporção aumenta, passando o solo a se comportar como se fosse de textura fina. Com isso, aumenta-se o conteúdo volumétrico de água na capacidade de campo nominal, aumentando-se em conseqüência o volume de água por unidade de volume de solo disponível para as raízes da planta. Um mínimo entre 3 a 4% de espaço de macroporos em um solo deve conectar-se para a difusão adequada do oxigênio a uma profundidade de 1m ou mais. O percentual de macroporos deve ser maior, ao menos 10%, no caso de taxas menores de difusão e mais ainda se a demanda por oxigênio for maior (GRABLE, 1971).

A compactação geralmente reduz a taxa de infiltração e a condutividade hidráulica saturada. A compactação pode aumentar o “runoff” superficial devido à redução na taxa de infiltração. Contudo, o “runoff” pode ser afetado por outros fatores além da compactação nas operações de colheita de madeira (HATCHELL et al., 1970). Parte significativa do aumento do “runoff” é devido à remoção da cobertura vegetal. A compactação pode aumentar a erosão do solo quando aumenta o “runoff”. Contudo, devido ao aumento da resistência, os solos compactados têm menor erodibilidade e conseqüentemente podem sofrer uma menor erosão para a mesma quantidade de “runoff”. Assim, a compactação pode aumentar ou diminuir a erosão dependendo das circunstâncias. Por exemplo, Liew (1974) reportou menos erosão nas trilhas dos tratores após a colheita em florestas em terreno inclinado e atribuiu isto à maior compactação sob os rodados. Devido às mesmas razões, solos compactados podem ser mais resistentes à erosão eólica.

3.2. As conseqüências da compactação no crescimento da floresta

3.2.1. Crescimento do sistema radicular

O decréscimo na produção de uma cultura após a compactação do solo reflete os efeitos sobre o sistema radicular das plantas que podem incluir interações complexas entre resistência do solo, disponibilidade de água e nutrientes, aeração e populações micorrízicas (GREACEN e SANDS, 1980). Devido a compactação aumentar a resistência do solo e diminuir o número de macroporos, a taxa de alongamento das raízes, portanto o comprimento das raízes, é reduzida. A taxa de alongamento típica é reduzida exponencialmente com o aumento da resistência do solo (medida pela resistência ao penetrômetro), mas existe um limite de resistência (q_c) a partir do qual a penetração das raízes efetivamente cessa. Greacen et al. (1969) tabularam valores de q_c no limite de 800-5000 (média 2500) kPa dependendo da espécie, tipo de solo e características do penetrômetro. Zyuz (1968) reporta um crescimento abundante de raízes de pinheiro em solos de resistência menor do que 1700 kPa, mas aquele crescimento era mais restrito acima de 2500 kPa (apud GREACEN e SANDS, 1980). A penetração de raízes de *Pinus radiata* em solos arenosos no sul da Austrália é deficiente em resistências do solo maiores do que 3000 kPa (SANDS et al., 1979).

Zisa et al. (1980) avaliaram a capacidade de propagação do sistema radicular de três espécies florestais em dois tipos de solo, franco-siltoso e franco-arenoso, ocorrendo uma variação quanto à densidade do solo, entre 1,2 e 1,8 g.cm⁻³. A Figura 15 ilustra a influência da compactação sobre o desenvolvimento de raízes de pinheiro austríaco naqueles dois tipos de solo.

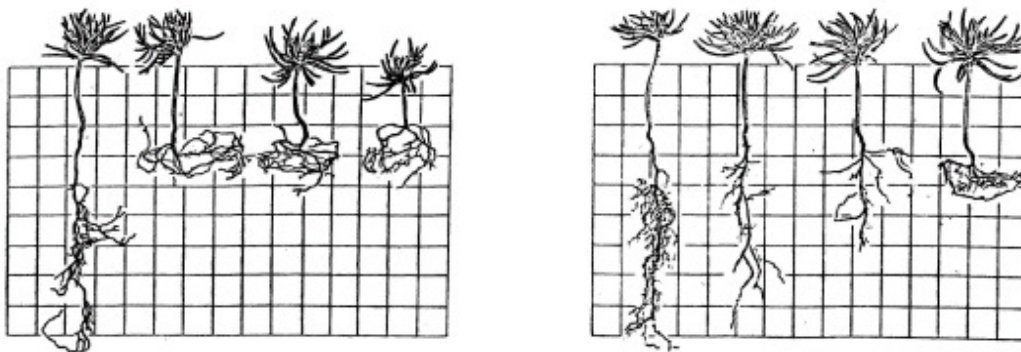


Figura 15. Efeito da densidade aparente a 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8 g.cm⁻³ no crescimento de mudas de pinheiro austríaco em solo franco-siltoso (Esq.) e franco-arenoso (Dir.) (2 cm de "gride") (ZISA et al., 1980).

Quanto à variável densidade, Froehlich (1977) avaliou árvores remanescentes de desbaste em um povoamento de Douglas-fir e concluiu que árvores que tiveram entre 10 a 40% da sua zona radicular compactada 10% ou mais acima da



densidade original, produziram 14% menos de crescimento em área basal. Árvores bastante impactadas, tendo mais do que 40% da sua zona radicular compactada, apresentaram em média um crescimento 30% menor em área basal, persistente por 5 a 12 anos após o desbaste.

Devido ao fato de que a resistência usualmente decresce quando o solo se torna mais úmido, não é óbvio se o melhor crescimento da raiz em solos úmidos é devido à menor resistência do solo, maior quantidade de água ou uma combinação de ambos os fatores. A compactação do solo pode reduzir a macroporosidade a tal ponto que o crescimento ou mesmo a sobrevivência das raízes seja determinado pela disponibilidade de oxigênio quando o solo estiver úmido. Isto irá ocorrer quando as exigências de oxigênio para respiração no solo excederem a taxa com a qual o oxigênio no solo pode ser repostado pela atmosfera.

É difícil prever os efeitos da compactação do solo no crescimento no campo devido às interações envolvidas. A maior resistência do solo pode ocasionar um sistema de raízes ocupando um menor volume de solo, mas isto não significa necessariamente que o crescimento da planta será menor. Se o fornecimento de água, ar e nutrientes for o suficiente e o comprimento das raízes atender à planta, então o seu crescimento não será prejudicado em virtude da restrição ao sistema radicular. Sob essas circunstâncias, a compactação pode inclusive ser benéfica devido à maior retenção de água e condutividade hidráulica. O consumo de íons móveis (ex. nitrato), que movem-se no solo principalmente pelo fluxo de massas, pode ser melhorado. A captação de íons mais inertes (ex. fósforo, cobre e potássio), que movem-se no solo por difusão, também pode ser melhorada porque a compactação aumenta o coeficiente de difusão aparente dos íons da mesma forma que coloca mais íons em um determinado volume de solo (KEMPER et al., 1971). Mas a difusão pode ser reduzida com a continuidade da compactação por causa da maior tortuosidade das vias de difusão (Graham-Bryce, 1963; Phillips e Brown, 1965; apud GREACEN e SANDS, 1980).

3.2.2. Crescimento da parte aérea

A relação entre o aumento da densidade do solo e decréscimo no crescimento em altura de mudas é proporcional em certos trabalhos (Figura 16). Isto é surpreendente porque, neste caso em particular, os dados são para três espécies e seis tipos de solo, variando de barro arenoso a argiloso, o que torna essa relação independente de espécies ou solo. Quando expressa em porcentagem de alteração dos valores de controle de densidade e altura, a relação é forte, mas quando expressa como mudança de crescimento em altura relacionado com a densidade aparente absoluta, ela é fraca.

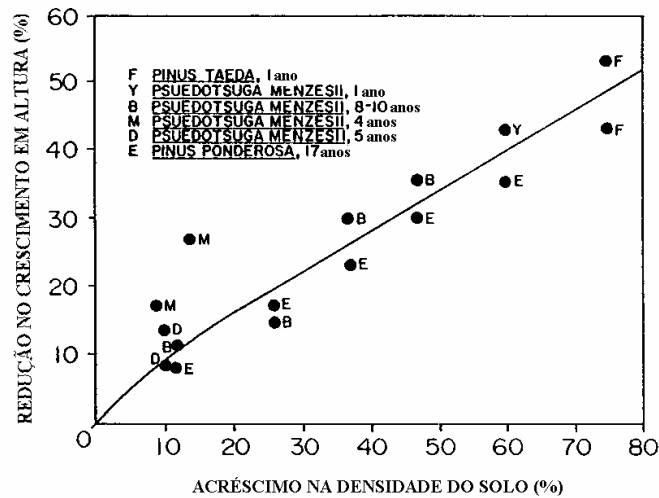


Figura 16. Relação entre o acréscimo na densidade aparente e a redução no crescimento em altura de mudas (FROEHLICH e McNABB, 1984).

A compactação do solo afeta mais o crescimento volumétrico do tronco do que em altura. Em um estudo com *Pinus ponderosa* no sudoeste do estado do Oregon, um aumento de 26% na densidade foi associado com uma redução de 17% no crescimento em altura mas de 48% de redução no volume do tronco da árvore. Um ajuste posterior para os diferentes níveis de compactação no talhão resultou em uma redução média no crescimento para todo o talhão de 14%. No estado de Washington, um aumento de 26% na densidade foi associado com uma perda de 13% no crescimento em altura e redução de 33% no volume do tronco. Uma plantação de *Pinus taeda* com 26 anos teve uma perda de 13% em altura e 53% em crescimento volumétrico, quando comparado com áreas adjacentes não perturbadas (PERRY, 1964).

Após a realização de um desbaste, a redução no crescimento de árvores individuais parece ser função da porcentagem da zona de raízes compactada, intensidade da compactação e danos às raízes. O tráfego na colheita, causando sulcamento em três lados de uma árvore de *Pinus taeda*, reduziu o crescimento em área basal em 37% e sulcos nos quatro lados de uma árvore em 43% (MOEHRING e RAWLS, 1970).

Dedecek e Gava (1997) detectaram a persistência da compactação do solo, causada pela retirada de madeira por caminhões 4x2, durante um ciclo de 7 anos de crescimento da rebrota de cepas de eucalipto, notadamente na camada de 10 a 30 cm de profundidade do solo. As linhas de árvores mais afetadas pelo impacto do tráfego dos caminhões sobre o sistema radicular, apresentaram reduções de até dois terços no volume obtido de madeira (Tabela 5).



Tabela 5. Dados de produtividade de *Eucalyptus grandis* em dois tipos de solo, por linha de árvores sob diferentes intensidades de tráfego de caminhões 4x2.

Local	Linha	Altura (m)	Diâmetro (cm)	Volume (m ³)
LE-arenoso	Galhada	17.1 ^a	11.9 ^a	531.7 ^a
	Corte	16.0 ^a	10.7 ^a	350.1 ^b
	Tráfego	14.0 ^b	8.7 ^b	221.4 ^c
LE-argiloso	Galhada	20.7 ^a	13.1 ^a	734.7 ^a
	Corte	19.6 ^{ab}	11.9 ^{ab}	605.3 ^{ab}
	Tráfego	18.8 ^b	11.3 ^b	489.3 ^b

Obs. Letras diferentes mostram diferenças significativas entre tratamentos (0,05).

Outro trabalho a ser comentado é o de Pereira (1990), que detectou um aumento no volume de madeira de *Eucalyptus camaldulensis*, com 4 anos de idade, possivelmente correlacionado com a redução gradativa na densidade do solo na camada mais superficial entre 0 e 20 cm de profundidade (apud GONÇALVES et al., 1997). Essa correlação já não foi possível de se estabelecer com a variação na densidade detectada na camada de solo entre 20 e 40 cm, demonstrando talvez o maior desenvolvimento do sistema radicular na faixa de solo mais superficial (Tabela 6).

Tabela 6. Variação no crescimento em volume entre parcelas de um plantio de *E. camaldulensis*, com 4 anos de idade, em cambissolo (Pereira, 1990).

Parcelas	Densidade do solo (g.cm ⁻³)		Volume de madeira (m ³ .ha ⁻¹)
	0 – 20 cm	20 – 40 cm	
1	1,26	1,23	24,7
2	1,14	1,18	39,3
3	1,13	1,24	63,3
4	1,06	1,18	89,7

4. Medidas atenuantes contra a compactação do solo

A avaliação da compactação do solo devido ao tráfego de máquinas florestais envolve uma série de variáveis de influência, tais como: umidade e tipo de solo,



pressão de contato e velocidade das máquinas, frequência de tráfego, presença de cobertura orgânica no solo etc. Alguns efeitos prejudiciais podem ocorrer em termos da redução da produtividade da floresta e aumento das taxas de erosão. Contudo, ainda existe uma falta de informações com relação à quantificação dessa influência nas condições silviculturais de nosso país. Esse conhecimento é importante para que medidas de prevenção ou correção da compactação possam ser adotadas com eficácia e economia, com o objetivo final de manutenção da sustentabilidade florestal. Para finalizar este tópico, são listadas algumas recomendações adaptadas, com acréscimos, de Smith (1992), para limitar o grau e extensão da compactação:

- Reduzir a pressão de contato dos pneus para menos de 200 kPa e usar veículos com pneus com o maior diâmetro possível.
- Evitar carga excessiva.
- Manter o tráfego dentro do talhão sobre trilhas definidas, evitando-se a movimentação indiscriminada.
- Evitar o cruzamento de linhas de drenagem e cursos d'água em épocas mais úmidas.
- Evitar sempre que possível os saltos dos equipamentos, por exemplo ao passar sobre troncos de árvores.
- Evitar as operações de colheita em épocas de maior umidade no solo, ou logo após a ocorrência de chuvas moderadas ou pesadas.
- Manter a vibração do equipamento no mínimo possível.
- Procurar trafegar sobre camadas de resíduos da colheita.
- Produzir curvas de compressibilidade do solo para a determinação de épocas críticas para o tráfego de veículos.



O uso de esteiras também é redomendado não só para possibilitar o tráfego de máquinas em condições de terreno com maior umidade, mas também possibilitar uma certa redução no nível de compactação do solo (Figura 17). Esteiras proporcionam uma maior área de contato e aumentam a flutuação, com menos distúrbios no solo do que pneus comuns. Elas sustentam períodos operacionais mais longos em condições mais úmidas, são mais fáceis de instalar do que correntes, com maior vida útil do que as mesmas e menor manutenção. As esteiras também aumentam a produtividade, ampliam a durabilidade do pneu e reduzem os custos operacionais. O forwarder 1710 D, equipado com 4 eixos, possui um peso total (tara + carga) em operação de 36,5 t e a pressão aplicada sobre o solo pelos pneus do eixo traseiro é de 105 kPa. Com a instalação de esteiras nos eixos traseiros, a pressão aplicada no solo cai para 61 kPa.



Figura 17. Diversos modelos de esteiras e sua aplicação em máquinas florestais.

O aumento no número de eixos das máquinas muitas vezes possibilita o aumento na capacidade de carga, sem que ocorra também um aumento na pressão aplicada sobre o solo na mesma proporção. Como exemplo, o trator florestal auto-carregável 1710 D, equipado com 4 eixos, possui um peso total (tara + carga) em operação de 36,5 t, com uma capacidade extra de 7,5 t de madeira (75%) em relação ao modelo de 3 eixos 1010 D do mesmo fabricante (Tabela 7). Mesmo assim, a maior pressão aplicada sobre o solo pelo eixo traseiro é de 105 kPa contra 79 kPa do modelo 1010 D, ou seja, um acréscimo de 33%. Isso representa uma maior produtividade por unidade tratora, diminuição na frequência de tráfego sobre o terreno e maior eficiência do sistema de colheita. Com a instalação de esteiras nos eixos traseiros, a pressão aplicada no solo cai para 61 kPa, no caso do modelo 1710 D, e 46 kPa, utilizando-se o modelo 1010 D.

Tabela 7. Características técnicas dos tratores florestais auto-carregáveis Timberjack modelos 1710 D e 1010 D.

Características	Forwarders	
	 Timberjack 1710 D	 Timberjack 1010 D
Tara	19,5 t	12,5 t
Peso com carga	37,0 t	22,5 t
Pressão no terreno carregado		
Eixo frontal	53 kPa	54 kPa
Eixo traseiro	105 kPa	79 kPa

5. Utilização de óleos biodegradáveis

A utilização de óleos biodegradáveis, ou mais apropriadamente chamados de biolubrificantes, tem sido recomendada em áreas florestais ambientalmente sensíveis, principalmente pela proximidade de nascentes e demais cursos d'água. O uso desse tipo de óleo já é comum em motosserras, verificando-se, por exemplo, a comercialização anual de 10 milhões de litros somente na França.

De acordo com Garrett (1998), óleo lubrificante de corrente e sabre de motosserra com base em Canola tem sido muito estudado na Europa, apresentando excelentes propriedades lubrificantes e até cerca de 40% de redução no seu consumo em alguns estudos. Alguns fabricantes e usuários reportam também um aumento na vida útil dessas peças, pela melhor aderência ao metal e lubrificação do óleo vegetal em comparação ao óleo de origem fóssil. O óleo de Canola tem baixa pressão de vapor, o que reduz a inalação de fumaça pelo operador, e sua composição é similar ao óleo da pele humana, o que pode reduzir irritações e eczemas em operadores e mecânicos. Ele não é tóxico e a sua degradação é rápida (97% em 21 dias) de acordo com fabricantes.

O bio - óleo é mais caro (3 - 5 €/litro) do que os óleos minerais comuns (1 - 1,50 €/litro), mas a ampliação do seu tempo de uso pode fazer com que os custos fiquem próximos e facilite a sua utilização (Figura 18).

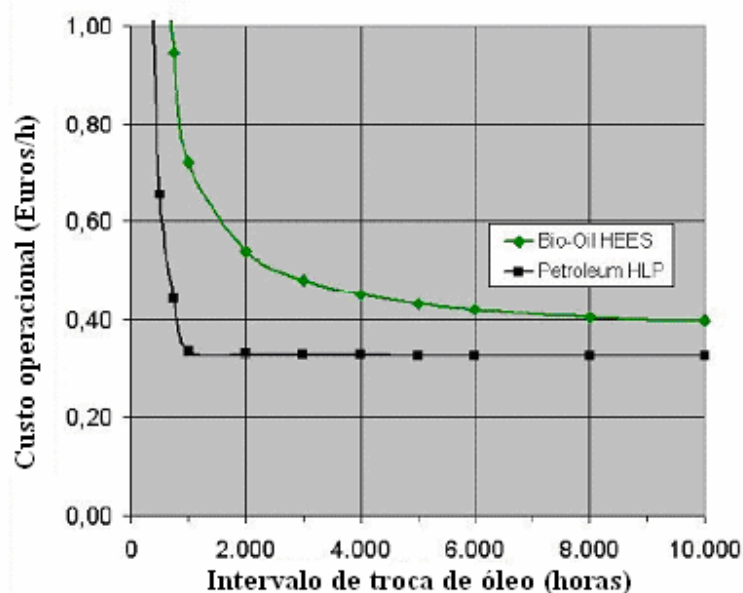


Figura 18. Comparação de custos entre óleo mineral e bio-óleo (THEISSEN et al., s.d.)



A preocupação com a contaminação dos solos e recursos hídricos por lubrificantes de origem fóssil levou a Comissão Florestal do Reino Unido por decidir que todos os tratores florestais terão que usar óleo hidráulico biodegradável a partir de Abril de 2007. Ainda assim, os operadores provavelmente continuarão sendo obrigados a limpar derramamentos de óleo, pois a rápida degradação dos mesmos pode levar à diminuição dos níveis de oxigênio no solo ou água, com possível mortalidade de microrganismos do solo e peixes. Alguns estudos sugerem também que os produtos resultantes da quebra das moléculas dos óleos podem ser tóxicos para bactérias do solo.

Por outro lado, o Instituto de Pesquisa Florestal Finlandês (FFRI) tem estudado a opção do uso de bio-óleos em máquinas florestais em termos dos seus aspectos técnicos e de saúde. Em um levantamento feito com operadores de um universo de 375 máquinas, constatou-se que 40% delas utilizavam bio-óleo hidráulico. Entre 27 e 38% dos proprietários experimentaram um ou mais dos seguintes problemas técnicos: remoção de óleo endurecido da máquina, vedação de vazamento, deterioração de mangueiras, falhas de bombas, problemas em clima frio e rápida oxidação ou baixa viscosidade em clima mais quente. Os proprietários reclamaram ter um valor médio de perdas ao redor de US\$10,500, com o maior custo de reparos tendo atingido US\$38,000, em virtude do uso desse tipo de óleo biodegradável. Um quarto dos usuários retomou o uso de óleo mineral, sendo o consumo de óleo biodegradável por volta de 440 L por máquina, contra 330 L com óleo mineral, o que sugere um maior vazamento com o uso de bio-óleos. Além do mais, entre 5 e 20% dos operadores reclamaram do cheiro desagradável, problemas de irritações na pele, dificuldades de respiração, irritações nos olhos e outros sintomas (Ismo Makkonen, FERIC, admin@mtl.feric.ca). Portanto, apesar das vantagens ambientais dessa substituição do uso hidráulico de óleo mineral por biodegradável, nota-se ainda a necessidade de estudos para a solução dos problemas aqui destacados.

6. Considerações

A preocupação com o impacto ambiental, causado pelas operações mecanizadas de colheita florestal, envolve não somente o impacto da operação em si, mas também as fases de construção e descarte, ou seja, todo o ciclo de vida da máquina. Como exemplo, a publicação “Green forest machines for sustainable development – Environmental Declaration” (Timberjack) destaca essa concepção por parte do fabricante, ilustrando as diversas fases do ciclo de vida de dois modelos de máquinas florestais e seus respectivos impactos ambientais (Figuras 19 e 20).

Nota-se, nos dois exemplos, que a fase operacional é a de maior impacto no ambiente, com as emissões mais significativas sendo nitrogênio, óxidos de nitrogênio e enxofre e gás carbônico. Nessa fase são geradas, em média, cerca de 450,0 toneladas de gás carbônico, 4,5 t de óxido de nitrogênio, 0,5 t de óxido de enxofre e 235 kg de material em partículas. Por causar a chuva ácida, os

óxidos de nitrogênio são considerados a emissão mais significativa em termos de impacto, seguidos pelo gás carbônico com o seu efeito estufa e, logo após, os óxidos de enxofre, causando também chuva ácida e problemas respiratórios. O segundo maior impacto é a fase de preparação dos materiais que irão participar da construção da máquina, sendo as outras etapas consideradas de baixo impacto.

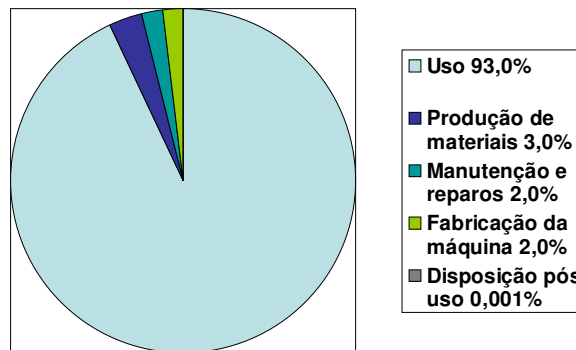


Figura 19. Diferentes fases do ciclo de vida do harvester Timberjack 770, com seus respectivos percentuais do total do impacto ambiental.

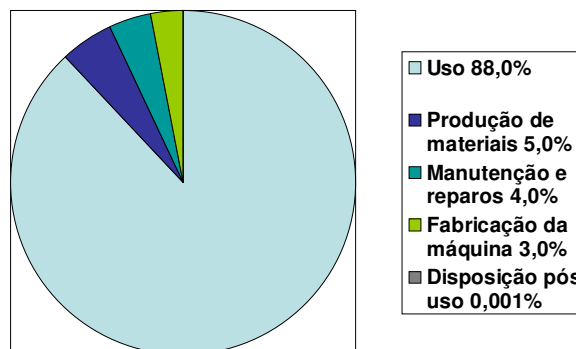


Figura 20. Diferentes fases do ciclo de vida do trator florestal auto-carregável Timberjack 1410, com seus respectivos percentuais do total do impacto ambiental.

Finalmente, conclui-se que a avaliação do impacto da colheita sobre a manutenção da sustentabilidade florestal não deve se restringir unicamente ao efeito direto, em termos de erosão e compactação do solo, na produtividade florestal, mas também considerar e reduzir aqueles efeitos que possam se manifestar mais em longo prazo, pelas conseqüências no ambiente como um todo e não somente no solo florestal.



7. Bibliografia

- BACCHI, O.O.S. Efeitos da compactação sobre o sistema solo-planta em cultura de cana-de açúcar. Piracicaba. 67 p. 1976. (Dissertação de Mestrado - ESALQ).
- BRAUNACK, M.C.; Dexter, A.R. Compaction of aggregate beds. P. 119-126. In: W.W. Emerson, R.D. Bond & A.R. Dexter (eds.). Modification of soil structure, John Wiley & Sons, N.Y. 1978.
- BURGER, J.A. Physical impacts of harvesting and site preparation on soil. Proc. Soc. Am. For., Appalachian section annual meeting. 9 p. 1983.
- CAMARGO de, O. A.; ALLEONI, L.R.F. Reconhecimento e medida da compactação do solo. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/C6/Index.htm>. Acesso em: outubro de 2007.
- DEDECEK, R.A.; GAVA, J.L. Compactação do solo pela colheita de eucalipto: sua avaliação e efeito na produtividade da rebrota. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, Salvador, 1997. **Anais**, Colombo: EMBRAPA/CNPF, 1997. V.3, p. 63-8.
- DIAS Jr., M.S. Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic. East Lansing, Michigan State University, 1994. 114 p. (Tese de Doutorado)
- DONNELLY, J.R.; SHANE J.B.. Forest ecosystem responses to artificially induced soil compaction. I. Soil physical properties and tree diameter growth. Can J. For. Res. 16: 750-4. 1986.
- DUIKER, S. Avoiding soil compaction. 2004. Disponível em: <http://pubs.cas.psu.edu/freepubs/pdfs/uc186.pdf>. Acesso em: outubro de 2007.
- EAVIS, B.W. Soil physical conditions affecting seedling root growth. I. Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by bulk density and moisture levels in a sandy loam soil. Plant Soil 36: 613-22. 1972.
- ELIASSON, L. Effects of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction. **Silva Fennica**, 39(4): 549-557. 2005.
- ERBACH, D.C.; KNOLL, K.K. Inflation pressure effect on soil compaction. ASAE Paper nº 921582. 13 p. 1992.
- FROEHLICH, H.A. Soil compaction: why the controversy? Loggers Handbook. **37**: 20-2. 1977.
- FROEHLICH, H.A.; McNABB, D.H. Minimizing soil compaction in Pacific Northwest forests. In: Earl L. Stone (ed.) Forest Soils and Treatment Impacts. Proc. of 6th North American Forest Soils Conference. Univ. of Tenn. Conferences, 2016 lake Ave., Knoxville. June 1983. P. 159-92. 1984.
- GARRETT, S. Vegetable oil for lubricating chain saws. 1998. Disponível em: <http://www.fs.fed.us/eng/pubs/html/98511316/98511316.html>. Acessado em: outubro de 2007.



- GEIST, J.M.; HAZARD, J.W.; SEIDEL, K.W.. Assessing physical conditions of some Pacific Northwest Volcanic ash soils after forest harvest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 946-50. 1989.
- GONÇALVES, J.L.M.; BARROS, N.F.; NAMBIAR, E.K.S.; NOVAIS, R. F. Soil and stand management for short-rotation plantations. In: NAMBIAR, E.K.S.; BROWN, A.G. Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests. Camberra: ACIAR, 1997. P. 379-417.
- GRABLE, A.R. Effects of compaction on content and transmission of air in soils. In: *Compaction of Agricultural Soils. Am. Soc. Agric. Eng., Monogr.*, pp. 154-64. 1971.
- GREACEN, E.L.; SANDS, R. Compaction of forest soils. A review. *Aust. J. Soil Res.* 18: 163-89. 1980.
- GREENE, W.D.; STUART W.B. Skidder and tire size effects on soil compaction. *South. J. Appl. For.* 9(3): 154-7. 1985.
- HATCHELL, G.E.; RALSTON, C.W.; FOIL, R.R. Effects on soil characteristics and growth of loblolly pine in the Atlantic Coastal Plain. *J. For.* 68, 772-5. 1970.
- HEIDERSDORF, E.; RYANS, M. Joint Feric / Mer high-flotation tire trials, Quebec, 1984. Feric technical report (64), out. 45 p. 1986.
- HILLEL, D. Introduction to soil physics. Academic Press, San Diego, 1982. 364 p.
- KOGER, J.L.; BURT, E.C.; TROUSE, Jr., A.C. Multiple pass effects of skidder tires on soil compaction. *Transactions of the ASAE*, 28 (1): 11-16, 1985.
- LI, C.Y. Basic concepts on the compaction of soil. *ASAE, J. Soil Mech. Found. Div.* 82: 1-20. 1956.
- LIEW, T.C. A note on soil erosion study at Tawau Hills Forest Reserve, Malay. *Nat. J.* 27, (1/2), 20-6. 1974.
- MAKKONEN, I. Evaluation of Timberjack 230 8-ton forwarder. FERIC Technical Note, Pointe Claire, (140), nov. 6 p. 1989.
- McNABB, D.H.; FROEHLICH, H.A. Conceptual model for predicting forest losses from soil compaction. In: *Proceedings of the 1983 SAF National Convention*. p.: 261-65. 1983.
- MELLGREN, P.G.; HEIDERSDORF, E. The use of high flotation tires for skidding in wet and/or steep terrain. FERIC Tech. Rep. No. TR-57. 48 p. 1984.
- MOEHRING, D.M.; RAWLS, I.W. Detrimental effects of wet weather logging. *J. For.* 68:166-7. 1970.
- MUROSKEY, D.L.; HASSAN, A.E. Impact of tracked and rubber-tired skidders traffic on a wetland site in Mississippi. *Transactions of the ASAE*. 34(1): 322-7. 1991.
- OLIVEIRA Jr., E.D. Compactação do solo devido ao tráfego de carretas florestais com dois tipos de pneus inflados a diferentes pressões. Piracicaba. 67 p. 1998. (Dissertacao de Mestrado - ESALQ).



- PERRY, T.O. Soil compaction and loblolly pine growth. *Tree Planters' Notes* 67: 9. 1964.
- RAPER, R.L.; BAILEY, A.C.; BURT, E.C.; WAY, T.R.; LIBERATI, P. Inflation pressure and dynamic load effects on soil deformation and soil-tire interface stresses. *ASAE Paper* nº 931517. 14 p. 1993 a.
- RAPER, R.L.; BAILEY, A.C.; BURT, E.C.; WAY, T.R.; LIBERATI, P. Inflation pressure effects on soil-tire interface stresses. In: *Proceedings of the 11th International Conference of Int. Soc. of Terrain-Vehicle Systems*. Incline Village, NV, Sept. 27-30, 1993. 1993 b.
- REISINGER, T.W.; SIMMONS, G.L.; POPE, P.E. The impact of timber harvesting on soil properties and seedling growth in the South. *South J. Appl. For.* 12(1): 58-67. 1988.
- SANDS, R.; GREACEN, E.L.; GERARD, G.J. Compaction of sandy soils in radiata pine forests. I. A penetrometer study. *Aust. J. Soil Res.* 17: 101-13. 1979.
- SEIXAS, F. Compactação do solo devido à mecanização florestal: causas, efeitos e práticas de controle. *Circular Técnica. IPEF*, Piracicaba (163): 1-10, out. 1988.
- SEIXAS, F.; McDONALD, T.P.; STOKES, B.J.; RAPER, R.L. Effect of slash on forwarder soil compaction. In: **Proceedings of the 1995 COFE Annual Meeting**. COFE, Cashiers, NC, p: 77-86, 1995.
- SEIXAS, F.; SOUZA, C.R.S. The use of bulk density and cone penetrometer resistance as indicators to evaluate the influence of forestry machine traffic on soil compaction. Melbourne: *Natural Resources and Environment*, 1998. P. 156-7. IUFRO Conference on Indicators for Sustainable Forest Management, Melbourne, 1998.
- SEIXAS, F.; OLIVEIRA Jr., E.D.; SOUZA, C.R. Efeito da camada de resíduos florestais na compactação do solo causada pelo transporte de madeira. *IPEF*, Piracicaba, n.54, p.7-16, dez.1998.
- SEIXAS, F.; OLIVEIRA JR., E.D. Compactação do solo devido ao tráfego de máquinas de colheita de madeira. **Scientia Forestalis**, n.60, p.73-87, dez. 2001.
- SEIXAS, F.; KOURY, C.G.G.; RODRIGUES, F.A. Determinação da área impactada pelo tráfego de Forwarder com uso de GPS. **Scientia Forestalis**, n.63, p.178-87, jun. 2003.
- SIDLE, R.C.; DRLICA, D.M. Soil compaction from logging with a low-ground pressure skidder in the Oregon Coast Range. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 1219-1224. 1981.
- SIROIS, D.L.; STOKES, B.J.; ASHMORE, C. Primary transport of wood on sensitive sites in the Southeast. In: *Proc. 1985 Counc. For. Eng.*, p. 122-7. 1985.
- SMITH, C.W. Tentative guidelines for soil physical management of South African forestry soils: part 2 – soil compaction. *ICFR Bulletin Series*, v.3/92, p. 1-6, 1992.



- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto: modelo IAA/Planalsucar – Stolf. Série Penetrômetro de Impacto: boletim, 1: 1-9, 1983.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.229-235, 1991.
- TAYLOR, H.M.; BRUCE, R.R. Effects of soil strength on root growth and crop yield in the southeastern United States. Trans. 9th Intl. Congr., Soil Sci. 1: 803-11. 1968.
- THEISSEN, H.; JAKOB, K.; JACOB, K.M. Bio-based Oils in Hydraulics – Experiences from Five Years of Market Introduction in Germany. Disponível em: http://www.ifas.rwth-achen.de/Main/Institut/IFK%20Paper/2_9_theissen_paper.pdf. Acessado em: outubro de 2007.
- VOMOCIL, J.A.; FLOCKER, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. Trans. ASAE 4: 242-46. 1961.
- VOORHEES, W.B.; SENST, C.G.; NELSON, W.W. Compaction and soil structure modification by wheel traffic in the Northern Corn Belt. Soil Sci. Soc. of Amer. Jour.: 42-344-249. 1978.
- WÄSTERLUND, I. Environmentally “soft” machines. Small Scale Forestry, University of Agric. Sciences, Sweden, 1/94, 1994. P. 13-5.
- WEAVER, H.A.; JAMISON, V.C.. Effects of moisture on tractor tire compaction of soil. Soil Science, 71(1): 15-23. 1951.
- WILEY, J.C.; ROMIG B.E.; ANDERSON, L.V.; ZOZ, F.M. ASAE Paper nº 921586. 15p. 1992.
- WRONSKI, E.B. Logging trials near Tumut. **Logger**, April/May: 10-14. 1990.
- ZISA, R.P. et al.. Establishment and early growth of conifers on compact soils in urban areas. **USDA. Forest Service. NE research paper**, Broomall (451): 1-8, 1980.



CAPÍTULO III. ERGONOMIA – ESTUDO DO TRABALHO FLORESTAL

1. Introdução

A Ergonomia pode ser definida como o estudo científico das relações entre o homem e o seu ambiente de trabalho. O termo ambiente, além de se referir ao local específico, inclui também equipamentos, aparelhos, ferramentas, materiais, métodos de trabalho e a própria organização do trabalho. Diversas outras ciências servem como apoio para o estudo eficaz da Ergonomia, dentre elas: a Fisiologia Aplicada, Anatomia, Antropometria, Psicologia, Higiene Industrial, Medicina do Trabalho etc. Derivada do grego *ergon* (trabalho) e *nomos* (regras), seu objetivo, em linhas gerais, é adaptar o trabalho ao homem. Alguns domínios de especialização da ergonomia são descritos a seguir (SOUZA e MINETTI, 2002):

- Ergonomia Física: concerne aos aspectos anatômico, antropométrico, fisiológico e biomecânico em sua relação com a atividade física.
- Ergonomia Cognitiva: refere-se aos processos mentais como percepção, memória, raciocínio e resposta motora, relacionados com a atividade física.
- Ergonomia Organizacional: concerne à otimização de sistemas sociotécnicos, incluindo as estruturas política e processual.

Os objetivos que nos devem nortear ao realizarmos tal estudo devem ser principalmente quanto à humanização do trabalho, tornando estável a capacidade de rendimento do indivíduo e aumentando a satisfação que o trabalho porventura lhe ofereça. Ao mesmo tempo, a otimização das variáveis envolvidas permitirá que ocorra, até certo ponto, um aumento na produtividade, com conseqüente participação do trabalhador no acréscimo da receita proveniente deste incremento. Todos estes fatores estimulam o indivíduo em relação ao seu emprego, pois o mesmo lhe proporciona uma ascensão social, tornando-o mais estável dentro da firma e disposto a maiores contribuições para com a mesma.

No caso do setor florestal, o trabalho, especialmente na área de colheita, é considerado como pesado, como, por exemplo, no corte de árvores com motosserra. “A carga física ou psíquica à qual o homem é exposto na execução de um trabalho pode ser solucionada ou influenciada por uma série de fatores. De grande importância é o fato de o trabalho florestal ser realizado em regra ao ar



livre. Inevitavelmente, as oscilações climáticas como temperatura, umidade do ar, vento e chuvas influenciam os trabalhadores, a qualidade do seu trabalho e a produção, comparativamente às de ambientes fechados. Algumas vezes, estas influências são positivas, mas na maioria das vezes tornam-se negativas” (Becker, 1981).

Além dos esforço físico considerável, as operações de colheita também são consideradas como perigosas, aumentando o risco de acidentes quanto mais cansado e desatento esteja o trabalhador. Em 2003, o setor industrial englobando agricultura, floresta, caça e pesca apresentou a maior taxa de fatalidades em acidentes de trabalho nos Estados Unidos, com 31,2 mortos em cada grupo de 100.000 empregados (Figura 1). Considerando-se cada ocupação isoladamente, o trabalho de colheita florestal atingiu a primeira colocação, com a elevada taxa de 131,6 mortes em cada grupo de 100.000 empregados.

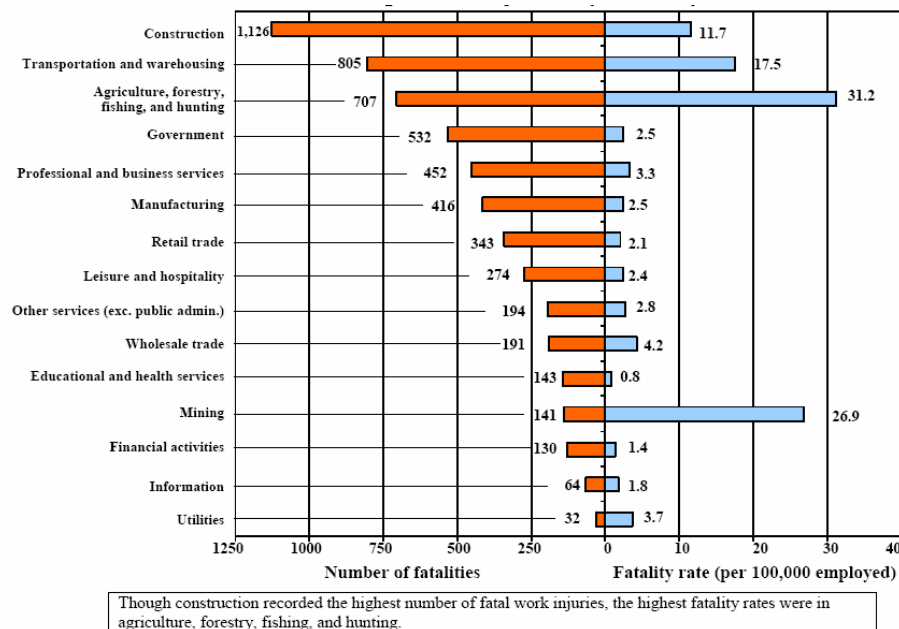


Figura 1. Número e taxa de acidentes fatais por setor industrial nos EUA em 2003.

Também influenciam bastante as condições geográficas, orográficas e de solo, tipo de vegetação e suas características no local de trabalho. Quanto ao trabalho em si, as ferramentas ou máquinas podem influenciar em termos de peso, vibração, ruídos e condições de serviço. Todos estes fatores exercem efeitos consideráveis sobre o bem-estar e produção do trabalhador florestal.

A atenção devido à sobrecarga de trabalho é maior ou menor conforme a disponibilidade de mão-de-obra, levando as empresas muitas vezes a não se preocuparem em demasia com esse problema. Também o baixo nível educacional do nosso contingente de mão-de-obra rural faz com que o trabalhador se preocupe mais com o seu nível salarial e estabilidade no emprego, esquecendo-

se dos aspectos de segurança e bem-estar no trabalho. Cabe aos responsáveis pelas diferentes áreas do serviço florestal zelar pela correta aplicação e adequação das normas técnicas de trabalho, tanto por parte da empresa como pelo trabalhador florestal.

2. Aspectos fisiológicos do trabalho

Um sistema homem-máquina é a combinação operativa de um ou mais homens com um, ou mais de um, equipamento, interagindo-se de modo a executar uma função desejada, partindo de estímulos de entrada, dentro das condições de um dado ambiente. Os fatores que influem no desempenho humano são: idade, treinamento, sexo, motivação, duração da jornada de trabalho, descanso e pausas etc. (STAAF e WIKSTEN, 1984). O esquema da Figura 2 a seguir exemplifica essa combinação.

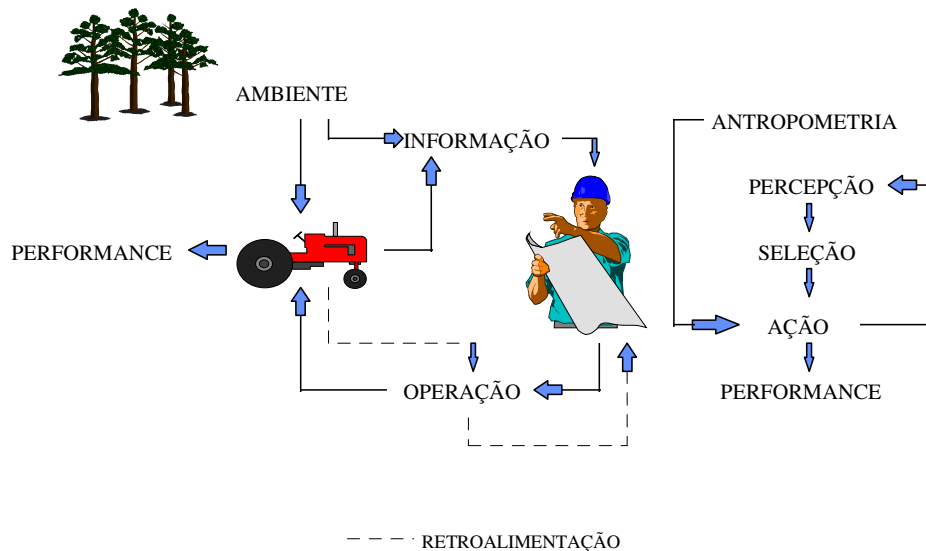


Figura 2. Sistema homem-tarefa.

Nesse esquema, as análises ergonômicas avaliam as limitações pessoais, determinando vários tipos de limites de tolerância que podem ser devido ao indivíduo, de natureza fisiológica ou médica. As seguintes limitações individuais podem ser distinguidas:

- Zona intolerável, que deve ser evitada.
- Zona de desconforto, muito comum na prática devido ao nível de tolerância do indivíduo e negligências ergonômicas.
- Zona de conforto, que deve ser o objetivo de toda pesquisa ergonômica.

Em termos médicos existem dois limites:

- Um limite acima do qual ocorrem injúrias sérias;
- Outro limite além do qual ocorrem injúrias leves e difíceis de serem definidas.

Fisiologicamente podem ser distinguidos outros dois limites:

- Limite acima do qual ocorre uma considerável exaustão.
- Limite além do qual a performance é afetada.

As necessidades fisiológicas ou eficiência de um homem no trabalho podem ser calculadas através da medição do gasto de energia por unidade de tempo. As medições podem ser feitas diretamente tendo como base o consumo de oxigênio, indiretamente através da contagem da pulsação ou por medição da capacidade dos pulmões.

A eficiência no trabalho é sempre a relação entre a entrada e saída de energia. Torna-se de interesse prático na escolha do método correto de trabalho ou de ferramentas para trabalho manual. Uma escolha pode ser feita por comparação dos resultados de trabalho com a quantidade de oxigênio consumida, taxa de pulsação ou quantidade de ar inalado. A Tabela 1 apresenta algumas atividades florestais e o consumo calórico médio.

Se duas pessoas com diferentes capacidades máximas de absorção de oxigênio desenvolverem um mesmo trabalho prolongado, elas irão utilizar diferentes proporções de suas capacidades máximas. Uma pessoa treinada irá utilizar 2/5 da sua capacidade, enquanto que outra não treinada utilizará 4/5 da sua capacidade. Isto significa que uma pessoa treinada possui condições de continuar o mesmo trabalho durante maior período de tempo. A Figura 3 exemplifica uma classificação do trabalho florestal em relação à quantidade de oxigênio inalado em litros / min.

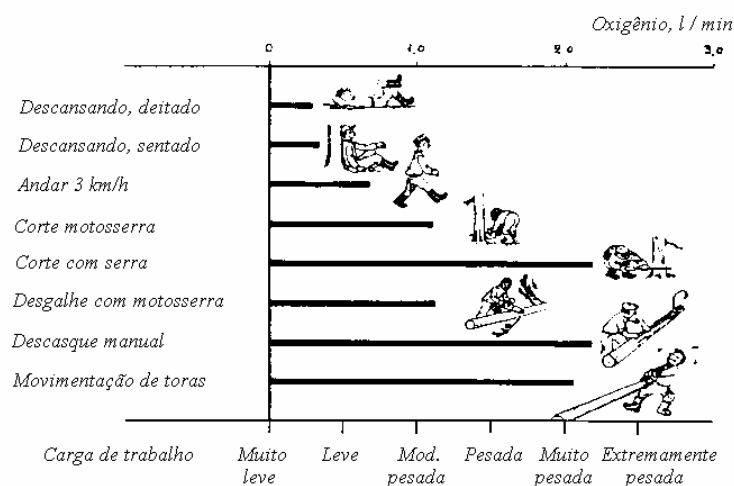


Figura 3. Quantidade de oxigênio inalado como medida da carga de trabalho (STAAF e WIKSTEN, 1984).



Tabela 1. Gastos de energia no trabalho florestal.

Atividades	kcal / min / homem 65 kg	Média
Limites		
Trabalhos em viveiros		
- Capina		5,9
- Transporte de ervas daninhas e lixo		4,2
Plantio		
- Plantio manual	5,5 – 11,2	6,5
- Plantio mecanizado		2,8
Trabalho com machado – golpes horizontais e perpendiculares		
Peso da cabeça do machado	Golpes / min	
1,25 kg	20	5,5
0,65 – 1,25 kg	35	9,1 – 10,6
2,0 kg	35	10,0
Corte, desgalhando etc.		
- Corte	6,8 – 12,7	8,6
- Desgalhamento	5,2 – 11,6	8,4
- Descascamento	5,2 – 12,0	8,0
- Rachar madeira	8,6 - 9,1	8,8
- Carregar toras	9,9 – 14,4	12,1
- Arrastar toras	8,3 – 15,9	12,1
Trabalho com serras		
- Afição		3,2
- Carregar motosserra		6,5
- Toragem com machado	6,4 – 10,5	8,6
- Corte horizontal por machado	6,8 - 7,7	7,2
- Toragem com motosserra	2,9 - 5,0	4,3
- Corte horizontal por motosserra	3,6 - 6,4	5,4

Fonte: Durning e Passmore (1967, apud APUD et al., 1989).

2.1. Métodos mais comuns de medição de carga de trabalho

A medição do consumo de oxigênio por um determinado indivíduo reflete diretamente o seu gasto de energia durante a realização de uma determinada atividade. Existem vários métodos para medir o consumo de oxigênio (VO_2) que podem ser classificados como procedimentos de circuito aberto ou fechado, mas os mesmos enfrentam uma série de limitações, principalmente devido à necessidade de equipamentos sofisticados e indivíduos bastante cooperativos. Diferentes métodos foram propostos para estimar o consumo de oxigênio através de medições fisiológicas mais simples como, por exemplo, a frequência cardíaca. Berggren e Christensen (1950) reportam que o aumento no consumo de oxigênio durante o trabalho está intimamente relacionado com o aumento na frequência



cardíaca e que “a contagem da pulsação durante o trabalho deve dar uma informação confiável sobre a taxa metabólica” (apud APUD, 1989). A seguir são listados diversos métodos para avaliação da carga de trabalho:

- a) A entrada de oxigênio em certos tipos de trabalho em relação à máxima capacidade de um indivíduo. Se a razão excede 50%, considera-se que o trabalho contínuo não é possível sem pausas ou descansos.
- b) Relação entre as necessidades de um trabalho e a máxima capacidade de um indivíduo para exercê-lo em uma dada postura e direção.
- c) O conteúdo de ácido láctico no sangue é uma expressão de esforço em trabalhos pesados.
- d) Déficit de oxigênio expresso em litros de O₂.
- e) Taxa de pulsação em relação à taxa máxima de pulsação.
- f) Taxa de pulsação em um trabalho padrão.
- g) Temperatura do corpo é uma medida de carga de trabalho, influenciada também pelo calor do ambiente.
- h) A transpiração possui a mesma aplicação que a temperatura do corpo.
- i) Taxa de respiração.
- j) Métodos subjetivos como entrevistas psicológicas e valores padrões.

Tabela 2. Exemplos de intensidade de esforço físico para diversos trabalhos florestais (OIT, 1968).

INTENSIDADE DE ESFORÇO FÍSICO		NATUREZA DO TRABALHO
Muito grande	☹️ ☹️	Subir em árvores Transporte de cargas morro acima Tirar o cabo do cabrestante Aspersão com equipamentos mecânicos portáteis
Grande	☹️	Corte e toragem de árvores com serras manuais e mecânicas Uso de machado Capina
Moderada	😊	Condução de tratores Manejo de guas Plantio manual de árvores
Pequena	😊	Trabalhos manuais de retirada de ervas daninhas em viveiros Conservação e revisão de ferramentas



2.2. Pausas

Não existe no trabalho florestal em nosso país uma orientação quanto ao modo correto de desenvolvê-lo durante o turno de trabalho. Cabe muitas vezes ao próprio trabalhador determinar a sua seqüência de trabalho e pausas para recuperação e descanso, a qual, na maioria das vezes, é estabelecida de maneira inadequada. Por vezes, em virtude do pagamento por produção, o homem trabalha até à exaustão e só então pára para descansar, sendo que a sua recuperação nunca atinge os níveis anteriores e não permite a manutenção de uma produtividade regular.

Pausas e descansos são necessários para a recuperação física e mental e para a redução dos riscos à saúde (ruído, vibrações e acidentes). Nas operações florestais é recomendado que se divida o dia de trabalho em quatro períodos de duas horas cada, separados por três intervalos para alimentação e café, e também pausas de 5 minutos para cada hora entre os intervalos. Nessas pausas é importante que o indivíduo realmente descanse e não se envolva com o seu equipamento em termos de manutenção, limpeza, troca de peças etc. Inclusive o silêncio do ambiente é extremamente salutar.

2.3. Exigências nutricionais

O padrão nutricional do trabalhador rural brasileiro é muito baixo, não lhe proporcionando condições ideais de produção e aumentando os riscos de acidentes devido à diminuição da sua atenção e rapidez de reações. Um trabalho desenvolvido por Oliveira e Seixas (1985) fornece um exemplo da influência de uma alimentação correta sobre o rendimento operacional de operadores de motosserra, bem como descreve o padrão nutricional e biológico de um grupo de trabalhadores da região de Bauru, SP. Após 3 meses sob dieta balanceada adequada ao serviço de corte de árvore, este grupo de trabalhadores apresentou um rendimento cerca de 10% maior, com correspondente incremento salarial quanto ao ganho por produtividade. A Tabela 3 apresenta as necessidades calóricas diárias em várias ocupações, onde pode-se notar a elevada exigência por parte do trabalhador florestal.

Tabela 3. Necessidades calóricas diárias em várias ocupações (STAAF e WIKSTEN, 1984).

Ocupações	Calorias (Kcal)
Em descanso	1500 – 2000
Trabalho sedentário	2000 – 3000
Trabalho industrial normal	3000 – 4000
Trabalho industrial pesado	4000 - 5000
Trabalho florestal manual	5000 - 6000



Quanto à necessidade de líquidos, principalmente regulada pela transpiração, quase nunca o trabalhador toma a quantidade necessária para repor as perdas da transpiração e controle da temperatura do corpo. A desidratação reduz a capacidade de trabalho, sendo que a perda por transpiração em um trabalho florestal está entre 0,1 e 0,4 L / h. A adição de pequena quantidade de sal na água (0,1 g/L) em locais muito quentes, auxilia no controle da perda de líquidos.

3. Estudo do trabalho e de tempo

Apesar de “estudo do trabalho” e “estudo de tempo” serem discutidos em separado neste capítulo, esses termos muitas vezes são utilizados como sinônimos. De acordo com Barnes (1977) “o estudo de movimentos e de tempos é o estudo sistemático dos sistemas de trabalho com os seguintes objetivos: a) desenvolver o sistema e o método preferido, usualmente aquele de menor custo; b) padronizar esse sistema e método; c) determinar o tempo gasto por uma pessoa qualificada e devidamente treinada, trabalhando num ritmo normal, para executar uma tarefa ou operação específica; e d) orientar o treinamento do trabalhador no método preferido. As duas partes principais do estudo de movimentos e de tempos são as seguintes:

- Estudo de movimentos ou projeto de métodos: encontrar o melhor método de se executar a tarefa.
- Estudo de tempos ou medida do trabalho: determinar o tempo-padrão para executar uma tarefa específica.

3.1. Estudo do trabalho

O estudo do trabalho objetiva a análise das exigências e condições reais da tarefa e a análise das funções efetivamente utilizadas para realizá-la. Em outras palavras, trata-se da observação de um trabalho em termos do que é necessário para o homem fazer, procurando cumpri-lo, em função do esforço necessário e das técnicas a serem desenvolvidas, de modo que possibilitem o melhor desempenho da função.

O método do estudo do trabalho divide-se em duas partes:

- **Análise:** que trata da observação, sem nenhuma interferência, do estado atual do decurso do trabalho.
- **Síntese:** após a análise, elabora-se um processo a ser atingido com a finalidade de aumentar rendimentos, melhorar as condições de trabalho, otimizar a utilização da mão-de-obra e/ou máquinas e equipamentos etc.

No caso de se organizar um novo sistema de trabalho, procurando racionalizá-lo e integrar todas as pessoas e máquinas envolvidas, pode-se seguir as etapas:

- Descrevem-se os objetivos do sistema homem-máquina.



- Todas as funções necessárias são descritas.
- Distribuições das funções em operações manuais e mecanizadas.
- Descrição completa de todas as atividades necessárias para desenvolver uma função, ou um grupo de funções, e também os meios auxiliares requeridos.
- Especificações dos requisitos de mão-de-obra como conhecimentos, habilidades, treinamento e traços pessoais necessários para cada tipo de serviço.
- Os serviços devem ser classificados incluindo as atribuições e áreas de responsabilidade.
- Devem ser alocados os componentes do sistema, ou seja, máquinas devem ser escolhidas, ou, se for o caso, desenvolvidos novos modelos, e o pessoal selecionado, educado e treinado para as novas funções.
- Os componentes dos sistemas parciais são coordenados e depois compostos em um sistema homem-máquina completo.

De maneira resumida, os pontos principais do estudo do trabalho são:

1. Coleta de dados: tempo, grandezas relativas e fatores de influência.
2. Estrutura ideal do trabalho.
3. Determinação das exigências do trabalho.
4. Treinamento da mão-de-obra.

Grandezas relativas são as magnitudes em que se expressam os resultados do trabalho, acompanhando o tempo que foi necessário para produzir uma unidade, como por exemplo: árvores derrubadas ou o seu volume; carga transportada; área plantada etc.

Os dados devem ser registrados por ciclos a fim de possibilitar a associação entre tempos gastos e as quantidades produzidas e/ou manipuladas. Os dados medidos podem ser: DAP (diâmetro da árvore à altura do peito), 1 m³ de madeira, número de toras ou de árvores etc., sendo necessário um ajudante para que não se sobrecarregue o encarregado da medição de tempo.

Os fatores de influência no rendimento baseiam-se no:

- meio de produção: marca, modelo, acessórios, idade, horas de uso, consumo etc., das máquinas; peso, tipo, material, forma etc., das ferramentas;
- objeto de trabalho: por exemplo, características da árvore, como tipo de casca, número e tipo de galhos, conicidade do fuste; características do solo em termos de tipo, pedregosidade, presença de tocos, umidade etc.;



- condições locais do trabalho: declividade, estado do solo, densidade de estradas e ramais, clima etc.;
- operários: sexo, idade, escolaridade, aptidão, treinamento etc.

3.2. Estudo de tempo

A cronometragem é o mais versátil e amplamente utilizado método para a medição do trabalho. O estudo de tempo é usado para determinar o tempo requerido por uma pessoa qualificada e bem treinada, trabalhando em um ritmo normal, para realizar uma tarefa específica. Esse tempo é chamado de “tempo padrão” para a operação.

O estudo de tempo pode ser utilizado para diversos propósitos incluindo:

- Determinação de horários e planejamento do trabalho.
- Determinação de custos padrões e como auxílio no preparo de orçamentos.
- Estimativa do custo de um produto antes de produzi-lo.
- Determinação da eficiência de uma máquina e o número de máquinas que uma pessoa pode operar.
- Determinação de tempos padrões para serem usados como base para o pagamento de incentivos salariais.
- Determinação de tempos padrões para serem usados como base para o controle do custo do trabalho.

Os equipamentos necessários para o estudo de tempo consistem de um aparelho de cronometragem e uma prancheta de observação. Os aparelhos mais comumente utilizados para a medição do trabalho são:

1. cronômetro decimal;
2. uma filmadora (com velocidade de motor constante ou um microcronômetro na imagem para indicar o tempo);
3. um coletor de dados eletrônico e computador.

3.2.1. Planejando o estudo de tempo

O procedimento a ser seguido na execução dos estudos de tempo pode variar algumas vezes, dependendo do tipo de operação a ser estudada e da aplicação que se pretende para os dados a serem obtidos. Contudo, as seguintes etapas são geralmente observadas:



1. Ter um registro confiável de informações sobre a operação e operador a serem estudados.
2. Dividir a operação em elementos e registrar uma descrição completa do método.
3. Observar e registrar o tempo gasto pelo operador.
4. Determinar o número de ciclos a serem cronometrados.
5. Avaliar a performance do operador.
6. Checar se os ciclos foram medidos em número suficiente.
7. Determinar as tolerâncias.
8. Determinar o tempo padrão para a operação.

Para que o estudo de tempo seja feito é necessário que a operação esteja se efetivando de maneira satisfatória, antes que o mesmo seja realizado. O supervisor deve se assegurar de que os operadores aprenderam, inclusive nas minúcias, o seu trabalho e que estão seguindo o método prescrito. O supervisor deve também informar previamente os operadores sobre o estudo de tempo a ser feito e os seus objetivos.

A próxima etapa é verificar se a operação está pronta para um estudo de tempo. O tempo padrão já estabelecido para um trabalho não estará correto se o método de fazê-lo foi alterado, se os materiais não estiverem seguindo as especificações, se a velocidade da máquina foi mudada, enfim, se alguma condição do trabalho for diferente da situação existente quando o estudo de tempo foi originalmente realizado. O analista do estudo de tempo, portanto, examina a operação com o intuito de sugerir quaisquer alterações que devam ser feitas antes do estudo de tempo ser realizado. O analista deve questionar cada fase do trabalho, fazendo perguntas como:

1. Pode a velocidade ou alimentação da máquina ser aumentada sem afetar a vida útil da ferramenta ou, de maneira adversa, a qualidade do produto?
2. Podem ser feitas algumas alterações nas ferramentas para reduzir o tempo do ciclo?
3. Os materiais podem ser removidos para as proximidades da área de trabalho para a redução do tempo do ciclo?
4. O equipamento está sendo operado corretamente, e a qualidade do produto produzido?
5. A operação está sendo conduzida de maneira segura?

O analista deve discutir com o supervisor todas as possíveis sugestões, a sua adoção prévia à realização do estudo e, principalmente, a concordância final quanto à operação estar pronta para o estudo de tempo.



Se forem necessárias mudanças muito profundas na operação e um tempo considerável seja requerido para colocar o novo método em ação, é recomendado fazer um estudo de tempo para o presente método e depois, após as melhorias serem implantadas, reestudar o trabalho e estabelecer um novo tempo padrão. Se somente pequenas alterações forem contempladas, deve-se completar essas alterações antes de se fazer o estudo de tempo para o trabalho em questão.

3.2.2. Realizando o estudo de tempo

Ao se realizar o estudo de tempo de uma operação, todas as informações concernentes à mesma devem ser devidamente anotadas, pois após um certo período o analista pode esquecer as condições em que o estudo foi feito. Se pertinente, deve ser feito um croqui do local de trabalho, com a posição do operador e a localização das ferramentas, balcões e demais materiais. Devem ser especificados os materiais e descritos os equipamentos (nome, tipo, tamanho, peso etc.), ferramentas, balcões etc. O nome do operador deve ser anotado e o estudo de tempo ser assinado pelo analista. Essas informações são úteis para as avaliações de controle, que podem ser feitas para checar se o operador continua realizando o trabalho da mesma maneira de quando o estudo foi feito.

Subdivisão do trabalho em atividades parciais

Cronometrar uma operação completa como um único elemento é raramente satisfatório e um estudo global não é substituto para um estudo de tempo. A subdivisão da operação em atividades parciais menores e a cronometragem de cada uma delas em separado são partes essenciais do estudo de tempo, pelas seguintes razões:

- Um dos melhores modos de se descrever uma operação é subdividi-la em etapas definidas e mensuráveis e descrever cada uma delas separadamente. As etapas da operação que ocorrem regularmente são usualmente listadas em primeiro lugar e depois todas as outras etapas que são partes integrantes do trabalho são descritas. Os pontos inicial e final de cada etapa devem ser bem definidos.
- Valores de tempo padrão devem ser determinados para cada uma das etapas do trabalho, permitindo-se posteriormente o cálculo do tempo padrão da operação.
- Um estudo de tempo permite detectar se existem gastos excessivos de tempo para cumprir determinadas etapas, ou se pouco tempo é gasto em outras. Tais aspectos dificilmente seriam notados em estudos globais.
- Um operador pode não trabalhar no mesmo ritmo durante o ciclo. Um estudo de tempo permite separar valores de performances para cada uma das etapas do trabalho.



Quando um estudo de tempo é feito com um novo produto ou um novo tipo de trabalho, deve-se proceder a uma análise criteriosa de todas as variáveis do trabalho que possam vir a ocorrer.

Deve-se também preparar um modelo geral dos dados padrões antes que qualquer estudo de tempo seja feito. É especialmente importante ter em mãos uma definição clara de cada uma das etapas, tornando possível uma padronização de todos os estudos de tempo.

Regras para a subdivisão da operação em etapas

Algumas etapas podem ser muito curtas, mas um grupo delas pode ser agrupado em etapas com duração suficiente para ser cronometrada. Três regras devem ser seguidas na subdivisão em etapas:

1. As etapas devem ser tão curtas em duração quanto possam ser corretamente cronometradas.
2. O tempo de manuseio (operador) deve ser separado do tempo da máquina.
3. Etapas constantes devem ser separadas das etapas variáveis. O termo “etapa constante” refere-se às etapas que são independentes do tamanho, peso, comprimento e forma da peça a ser trabalhada.

O estudo de tempo deve ser um estudo das etapas da operação e não somente a determinação do tempo total necessário por ciclo para se fazer o trabalho. Contudo, se as etapas forem muito curtas, torna-se impossível cronometrá-las precisamente.

No trabalho da máquina é desejável separar o tempo da máquina, ou seja, o tempo em que a máquina está fazendo o trabalho, do tempo durante o qual o operador está trabalhando. Isto permite que se faça uma checagem dos valores cronometrados com os valores da máquina controlados automaticamente (ex.: a velocidade de rotação).

O analista deve definir precisamente os pontos inicial e final de cada etapa, fazendo com que ele sempre cronometre o mesmo ponto em cada um dos ciclos observados. Por vezes, podem ser usados símbolos para representar as etapas que se repetirem com freqüência, colocando o seu significado em cada folha de observação.

Coletando os dados de tempo

Para a medição do tempo podemos contar com os seguintes métodos:

a) Método de tempo contínuo

É feita a medição do tempo sem deter o cronômetro com a leitura a cada ponto de medição. O tempo requerido para cada trabalho parcial é calculado durante a avaliação por subtração entre a hora em que terminou a atividade parcial em



questão e a hora em que se iniciou. A vantagem é que as atividades parciais são anotadas na seqüência em que elas acontecem, de forma cronológica, facilitando: a descoberta de erros; não necessidade de elaboração prévia de formulários especiais; e identificação e cronometragem de atividades não previstas.

A principal aplicação desse método é para pesquisas em que se deseja identificar as diferentes atividades parciais e a seqüência em que acontecem em um determinado trabalho.

b) Método de tempo individual

Neste método o cronômetro é detido em cada ponto da medição, sendo registrados os tempos individuais para cada atividade parcial, sempre partindo do zero. Requer cronômetros sofisticados com ponteiros que voltam a zero e recomeçam a girar imediatamente para medir o tempo da atividade parcial seguinte.

A principal vantagem com relação ao método anterior é que o tempo para cada etapa é visível na folha de observação, permitindo que o analista veja as variações nos valores de tempo conforme o estudo vai sendo realizado.

c) Método de multimomento

Aqui o cronômetro fica em giro contínuo, determinando-se a freqüência com que os tempos das atividades parciais ocorrem.

Para isso observa-se em determinados intervalos qual das atividades parciais está sendo desenvolvida e se faz uma marcação no formulário dos tempos de trabalho. O método baseia-se no princípio do acaso, por isso é importante prestar-se atenção quanto à operação exatamente no momento quando o ponteiro passa pela marca do intervalo correspondente. No caso de operações florestais ou agrícolas com decurso de trabalho variável recomenda-se o intervalo de 25/100 minutos. As vantagens são quando o cronometrista tem que observar vários operários e/ou máquinas trabalhando simultaneamente, ou quando existirem muitas seções de decurso de trabalhos curtos dentro da atividade a ser observada.

3.2.3. Avaliação dos resultados

Controle do tempo

Devem ser definidas seções de controle, anotando-se o início e final em horas, minutos e, eventualmente, em segundos. O tempo de controle deve ser igual à soma de todos os valores cronometrados, sendo que se houver uma diferença maior que 3%, exclui-se a seção de controle da avaliação. Este tipo de controle é indicado para o método de tempo contínuo.

No caso dos métodos de tempo individual e multimomento deve-se anotar para cada ciclo a hora exata do início e do fim do ciclo. Por diferença obter-se-á o tempo de controle por ciclo.



Usando este procedimento aceita-se uma variação de até mais ou menos 5%, pois o mesmo evita que ciclos individualmente com erros superiores a 3% se neutralizem mutuamente (um ciclo com falta de observações e outro com excesso) (Malinovski, 1983).

Número de ciclos a serem medidos

O tempo necessário para executar as etapas de uma operação pode variar de ciclo para ciclo. Mesmo que o operador trabalhe em um ritmo constante, cada etapa de ciclos consecutivos não será sempre executada exatamente no mesmo tempo. O estudo de tempo é um processo de amostragem; conseqüentemente, quanto maior o número de ciclos medidos, mais representativos serão os resultados das etapas avaliadas. Quanto maior a variabilidade das leituras para uma etapa, maior o número de observações a serem feitas para se atingir a precisão desejada.

As fórmulas 1 e 2 proporcionam um meio simples de se calcular o erro no valor médio de tempo em uma etapa para um determinado número de leituras. Assume-se que as variações no tempo de observação para observação sejam devidas ao acaso. O erro padrão para a média de cada etapa é expresso pela fórmula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma'}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

onde:

$\sigma_{\bar{x}}$ = desvio padrão da distribuição por amostragem da média

σ' = desvio padrão da população original

N = número efetivo de observações por etapa

O desvio padrão por definição é a raiz quadrada da média dos desvios das leituras efetuadas em relação a sua média. Isto é:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{N}} \quad (2)$$

$$= \sqrt{\frac{\sum x^2}{N} - \bar{x}^2}$$

onde:

x = observações individuais

\bar{x} = média de todas as leituras de uma etapa



Como: $\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$,

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N} - \left(\frac{\sum x}{N}\right)^2} = \frac{1}{N} \sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (3)$$

Combinando as fórmulas 1 e 3:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\frac{1}{N} \sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sqrt{N'}} \quad (4)$$

Uma decisão deve ser tomada em relação ao nível de confiança e da precisão desejada a serem usados na determinação do número de observações necessárias. Um nível de confiança de 95% e $\pm 5\%$ de erro relativo são usados comumente em estudos de tempo. Isto significa que, com 95% de probabilidade, a média da amostra não incorrerá em erro maior do que $\pm 5\%$ do tempo verdadeiro para a etapa. Assim:

$$0,05 \bar{x} = 2 \sigma_{\bar{x}} \quad \text{ou} \quad 0,05 \frac{\sum x}{N} = 2 \sigma_{\bar{x}}$$

$$0,05 \frac{\sum x}{N} = 2 \frac{\frac{1}{N} \sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sqrt{N'}} \Rightarrow$$

$$N' = \left(\frac{40 \sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 \quad (5)$$

onde N' é o número necessário de observações para prever o tempo correto dentro de $\pm 5\%$ de erro e 95% de nível de confiança. Se um nível de 95% de confiança e erro relativo de $\pm 10\%$ forem utilizados como critério, a fórmula passará a ser:

$$N' = \left(\frac{20 \sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 \quad (6)$$



Outra fórmula para a determinação do número de ciclos a serem medidos é:

$$N' = \left(\frac{40 N}{\sum x} \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}}{N - 1}} \right) \quad (7)$$

Esta fórmula resulta da substituição da fórmula 3 pela seguinte expressão:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sum x^2 - (\sum x)^2 / N}{N - 1}}$$

A fórmula 7 tende a ser mais precisa quando o número de ciclos cronometrados decresce.

4. Bibliografia

APUD, E. et alii. Guide-lines on ergonomic study in forestry. Genebra, ILO, 1989. 241 p.

BARNES, R.M. Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho. São Paulo, Edgard Blucher, 1977. 635 p.

BECKER, G. Vantagens e problemas na estruturação de trabalhos na colheita de madeira do ponto de vista ergonômico. In: BECKER, G. III Curso de atualização sobre sistemas de exploração e transporte florestal. Curitiba, FUPEF, 1981. P. 69-92.

LAVILLE, A. Ergonomia. São Paulo, EPU/EDUSP, 1977. 101 p.

MALINOVSKI, J.R. Técnicas de estudo do trabalho florestal. In: Dietz, P. Curso de atualização sobre sistemas de exploração e transporte florestal. Curitiba, FUPEF, 1983. P. 92-109.

OLIVEIRA, I.M.V.; SEIXAS, F. Estudo de dieta balanceada para operadores de motosserra. IPEF, Piracicaba, (30): 19-27, 1985.

STAAF, K.A.G.; WIKSTEN, N.A. Tree harvesting techniques. Dordrecht, Martinus Nijhoff, 1984. 371 p.

SOUZA, A. P.; MINETTI, L. J. Ergonomia aplicada ao trabalho. In: Colheita Florestal. Editora UFV. Universidade Federal de Viçosa, 2002. 468p.



CAPÍTULO IV. COLHEITA DE FLORESTAS IMPLANTADAS - EQUIPAMENTOS DE CORTE MECANIZADO

1. Introdução

O corte é uma operação típica de um único trabalhador, constituindo-se até bem pouco tempo no Brasil em um trabalho semi-mecanizado utilizando-se de motosserras, ou com o machado ainda sendo empregado em regiões com baixo custo e grande disponibilidade de mão-de-obra. Trata-se de uma operação considerada muito estafante e onde são registrados os acidentes mais graves no serviço florestal, em sua grande maioria devido à falha humana (OIT, 1968).

A importância da colheita florestal no Brasil reflete-se na composição do custo da madeira posto fábrica, atingindo cerca de 25% do custo final. O processo de mecanização das operações de colheita florestal iniciou-se na década de 70, utilizando-se de máquinas agrícolas adaptadas ou de máquinas propriamente florestais, como o trator florestal auto-carregável (forwarder) para a extração de madeira. Intensificando-se na década de 90, com a abertura do mercado, a introdução de máquinas buscou a diminuição desses custos, redução da dependência por mão-de-obra e o aumento da produtividade, mas também se inspirou nos aspectos de segurança, procurando retirar o homem do terreno e protegendo-o em uma cabine.

Uma das primeiras máquinas utilizadas no corte de árvores era o “cortador-acumulador” (feller buncher) (Figura 1), característico dos sistemas de colheita de madeira da América do Norte, onde era empregado principalmente em plantações de coníferas. Em função da demanda buscou-se o desenvolvimento de um modelo de colhedora (“harvester”) nacional (AMABILINI, 1991), mas com a abertura do mercado não houve como competir com os já tradicionais fabricantes de equipamentos florestais da Escandinávia e América do Norte. Atualmente, o mercado brasileiro de equipamentos florestais de maior porte é abastecido principalmente através da importação de máquinas e componentes mecânicos e por um pequeno número de fabricantes nacionais.

Por outro lado, a motosserra ainda continua sendo um equipamento muito utilizado na exploração de florestas nativas, por pequenas empresas de prestação

de serviços e fazendeiros, responsáveis pela maior parte da demanda de mercado.



Figura 1. Feller buncher de serra de corrente Implanor Bell.

2. Equipamentos de corte mecanizado

Existem vários modelos de máquinas que são utilizadas na colheita de madeira e que realizam duas ou mais das atividades de corte, incluindo o corte, desgalhamento, toragem, descascamento e a própria medição das toras. Algumas dessas máquinas podem inclusive realizar o transporte primário das toras.

Diversas ferramentas são utilizadas no corte incluindo tesouras, serras de corrente e serras circulares. A classificação dessas máquinas é feita de acordo com o número de atividades que cada uma delas desempenha. A máquina mais simples (cortador ou “feller”), de função única, realiza somente o corte das árvores, direcionando a queda para facilitar o transporte primário. Os cortadores-acumuladores (feler bunchers) são máquinas mais sofisticadas que acumulam algumas árvores durante o processo de corte e as colocam em pilhas, aumentando o rendimento do transporte que não trabalha mais com árvores isoladas. E finalmente, as máquinas de funções múltiplas (colhedoras ou “harvesters”) que já processam as árvores em toras com dimensões de acordo com as especificações do mercado consumidor.

Atualmente detecta-se uma tendência de se agregar operações no menor número de máquinas possível, assim como já existem protótipos de harvesters atuando com o auxílio de controle remoto, eliminando-se a cabine e a necessidade de um operador exclusivo.

2. 1. Cortador-acumulador (feller-buncher)

O elemento característico dessas máquinas é a cabeça de corte, que realiza o corte e possui garras que permitem ao equipamento segurar a(s) árvore(s) já cortada(s) enquanto realiza o corte de outra (Figura 2). O movimento dessas garras é feito por acionamento hidráulico. O elemento de corte pode ser uma serra de corrente, uma serra circular ou lâminas (tesouras) (Figura 3).

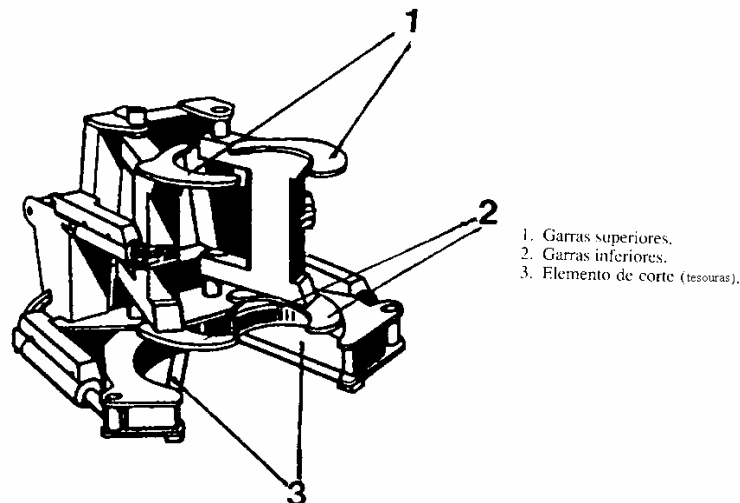


Figura 2. Cabeça de corte (PEÑA et alii, 1993)

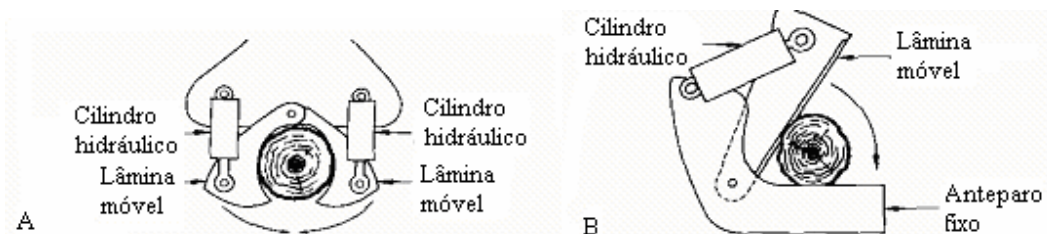


Figura 3. Tipos de “tesouras”: A) de dupla ação; B) de ação simples (CONWAY, 1976).

O corte com lâminas consiste na penetração dessas na madeira por meio de pressão. Essa pressão comprime e deforma as fibras da madeira, podendo inclusive causar rachaduras que prejudicam o aproveitamento comercial justamente da parte de maior diâmetro do tronco da árvore (Figura 4). Alguns exemplos indicam rachaduras variando entre 60 e 120 cm e outros somente até 25 cm. As principais variáveis que afetam a ocorrência desse problema são a espécie, o formato da ponta de corte da lâmina, a espessura da lâmina e o comprimento da contra-faca (anteparo à ação da faca). Quanto mais fina a lâmina

e menor a ponta de corte, menos danos devido à rachaduras irão ocorrer. Esses danos são maiores no caso de madeiras congeladas durante invernos rigorosos. Outra possibilidade de dano é a separação da casca do lenho na cepa de eucaliptos, o que pode prejudicar a plena capacidade de rebrota da espécie.

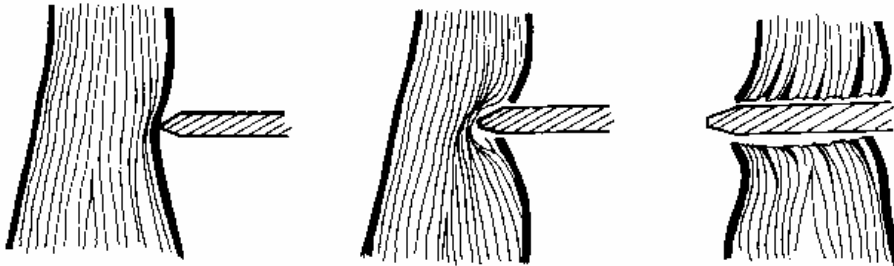


Figura 4. Efeito da penetração da lâmina na madeira (PEÑA et al., 1993)

Uma alternativa ao uso de lâminas, prevenindo inclusive a ocorrência de compressão das fibras e rachaduras, é o corte com serra de corrente ou serras circulares. O corte com serra de corrente é semelhante ao realizado por motosserras, com as diferenças de que o movimento da corrente é gerado por um circuito hidráulico e não por meio de um motor a explosão, a potência da serra é muito superior a de uma motosserra (ao redor de 13 kw) e existe um elemento de proteção do sabre onde ele fica alojado (Figura 5). A energia requerida para realizar o corte com a serra de corrente é de 3 a 5 vezes menor do que com lâminas. As desvantagens referem-se à menor velocidade de corte e a necessidade de uma maior manutenção, comparativamente às lâminas mais robustas (PEÑA et al., 1993).

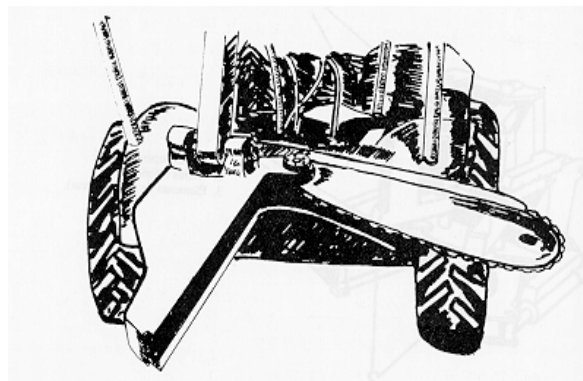


Figura 5. Elemento de corte mediante serra de corrente.

Os equipamentos com serra circular possibilitam um rendimento operacional elevado, evitando danos à madeira ou à serra, mas existem problemas para se

manter uma altura aceitável das cepas, o que pode interferir nas operações de preparo de solo.

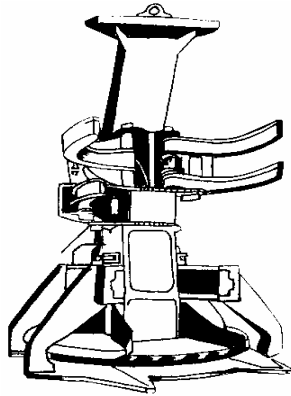


Figura 6. Feller buncher com serra circular (STAAF e WIKSTEN, 1984).

O cabeçote de corte pode ser montado em uma grua (Figura 7) ou diretamente incorporado ao chassi da máquina (Figura 8). O uso da grua é favorecido no caso de sistemas de corte raso onde o trator não precisa movimentar-se até à árvore, bastando estender a grua, o que é ideal em concentrações mais altas de árvores por diminuir o tempo de deslocamento. Freitas e Antikeira (1993) relatam uma produtividade para o feller buncher de 45 st/h em corte raso de eucalipto, comparativamente ao rendimento de 22 st/homem.dia para operadores de motosserra. O cabeçote incorporado ao chassi implica na necessidade da máquina se deslocar até à base da árvore, o que indica o emprego desse equipamento em sistemas de desbaste, utilizando-se tratores de dimensões reduzidas para facilitar o seu deslocamento. Em desbaste de *Pinus* spp. um feller buncher de tesouras produziu 16 m³sc/hora (DURAFLOA, 1991).



Figura 7. “Feller-buncher” com grua.



Figura 8. Cabeçote de corte incorporado ao chassi do trator.

As restrições ao uso de feller bunchers dizem respeito à declividade do terreno, existindo um limite ao redor de 35% com redução no rendimento operacional. As condições ótimas para o emprego de equipamentos de maior porte estão em declividades até 10%, um número mínimo de árvores por hectare (750) e volume individual por árvore entre 0,23 a 0,28 m³. Nas declividades até 10% a máquina trabalha melhor acompanhando os contornos do terreno. Em declives maiores a máquina deve trabalhar morro acima ou abaixo (CONWAY, 1976).

Gingras (1988) estudou uma série de possíveis fatores de influência na produtividade de dois “feller-bunchers”, com ou sem nivelamento de cabine, considerando: a) firmeza do terreno (capacidade de suporte do solo); b) acidentes do terreno; c) declividade (paralela à trajetória); d) inclinação (perpendicular à trajetória); e) sub-bosque (necessidade de limpeza e visibilidade); f) presença de galhos na parte inferior do tronco; g) densidade do talhão; h) distribuição das árvores; i) DAP médio; j) árvores acumuladas por ciclo; l) árvores por pilha; m) árvores não comerciais / árvores comerciais (desbaste); n) visibilidade; o) volume por árvore. Ao final desse extenso trabalho, o autor concluiu que os principais fatores eram o número de troncos acumulados antes da deposição na pilha, o diâmetro médio das árvores, a densidade do talhão e a razão árvores não comerciais / árvores comerciais, situação típica de operação de desbaste. O declive afetou a produção quando excedeu 15% na máquina sem capacidade de nivelamento e 35% na máquina com nivelamento.

Estudo efetuado na International Paper do Brasil Ltda, por Possamai et al. (2003), demonstrou as vantagens da substituição de “feller-bunchers” de pneus de médio porte (125 kW de potência; 0,43 m² de área de acúmulo de troncos) por “feller-bunchers” de esteiras (195 kW de potência; 0,62 m² de área de acúmulo de troncos). Para uma produção mensal de 90.000 m³, o número de máquinas e de

mão-de-obra reduziu-se pela metade, a produtividade por máquina aumentou de 75 para 100 m³/hora, a eficiência operacional subiu de 76 para 87% e o volume de madeira produzido por mês saltou de 22.500 para 45.000 m³.

2.2. Colhedora (harvester)

Uma colhedora é uma máquina polivalente auto-propelida que pode ser capaz de operar como cortadora e processadora de árvores e também, por vezes, realizar o cavaqueamento e/ou transporte primário de madeira. Difere do processador pois o mesmo não derruba árvores, mas realiza duas ou mais funções subseqüentes (STOKES et al., 1989).

As colhedoras são divididas em dois grupos:

- “Two-grip harvester”, composto por dois conjuntos de garras de fixação, que primeiro corta a árvore com uma cabeça de corte montada em uma grua e depois a transfere para realizar o processamento em um mecanismo montado na base da sua plataforma (Figura 9).
- “One-grip harvester”, que possui um único conjunto de garras de fixação e usa o mesmo equipamento de processamento, montado em uma grua relativamente mais leve, tanto para o abate como para as operações posteriores de desgalhamento e toragem (Figura 10).



Figura 9. “Two-grip harvester”.

“One-grip harvesters” são máquinas mais comuns, principalmente devido ao seu menor custo e flexibilidade, o que significa dizer que podem ser usadas tanto em sistemas de corte raso como desbaste. A produção anual desse “harvester” é de 20.000 a 30.000 m³ em desbastes tardios e até 40.000 m³ em corte raso, ou seja, dez vezes mais que a produtividade de um motosserrista (HAKKILA et alii, 1992).

Além disso, o cabeçote de corte pode ser facilmente montado em tratores comuns ou escavadoras, desde que equipado com motor de potência suficiente e uma grua. Quando o tamanho médio dos troncos excede $0,4-0,5 \text{ m}^3$, os “two-grip harvesters” tornam-se competitivos com as colhedoras de um só conjunto de garras de fixação. Assim, o uso de “two-grip harvester” torna-se viável em corte raso com grandes árvores, sendo essas máquinas mais robustas não indicadas para desbaste.



Figura 10. “One-grip harvester”.

As colhedoras possuem elevada disponibilidade técnica (80%), boas propriedades ergonômicas e reduzem os impactos quanto ao meio ambiente. O processamento da madeira com o auxílio de computadores é feito com baixo custo e uma certa confiabilidade, mas ainda existem alguns problemas devido à elevada velocidade de operação e a visibilidade restrita.

As máquinas de multi-funções são sensíveis às condições da floresta. Tamanho do tronco, volume removido por unidade de área, espaçamento das árvores remanescentes, forma do tronco, quantidade de galhos e tipo de terreno afetam suas produtividades. O volume produzido por hora aumenta significativamente com o tamanho do tronco, já que o tempo total consumido por uma colhedora para abater e processar uma única árvore não depende estreitamente desse tamanho do tronco (HAKKILA et al., 1992). Quanto ao rendimento em plantios de eucalipto, Silva Jr. (1992) previa uma produtividade do equipamento ao redor de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ e custo operacional de US\$ $2.00/\text{m}^3$ para árvores com volume médio de $0,25 \text{ m}^3$. De acordo com Bramucci e Seixas (2002), o volume individual médio das árvores foi a variável que, isoladamente, melhor explicou a capacidade produtiva dos harvesters, seguida do DAP médio, da altura média e do volume de madeira por hectare. Malinovski e Malinovski (1998) estimaram alguns valores do custo de colheita com harvester por m^3 de madeira de *Pinus* spp., considerando-se uma eficiência operacional de 70% e vida útil de cinco anos (Tabela 1).

Tabela 1. Produtividades e custos da colheita de povoamentos de *Pinus* spp. com “harvester”.

Manejo	Volume (m ³ /árvore)	Produtividade (t/h)	Custo / h (US\$)	Custo / t (US\$)
1° desbaste	0,0810	10,30	67,15	6.51
2° desbaste	0,1999	21,21	67,15	3.16
3° desbaste	0,4180	36,68	67,15	1.83
Corte raso	1,1600	50,00	67,15	1.06

A maior parte dos cabeçotes para harvesters processam uma única árvore de cada vez, mas cabeçotes multiprocessadores propiciam o processamento simultâneo de mais de um tronco, sendo que o manuseio de múltiplas árvores durante a colheita de árvores menores pode aumentar a produtividade do harvester. Um exemplo é o cabeçote multiprocessador Waratah HTH-470HD (Figura 11).

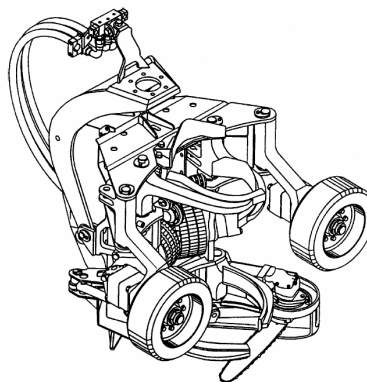


Figura 11. Desenho esquemático do cabeçote Waratah HTH-470HD.

Os principais elementos que permitem a esse cabeçote processar diversos troncos simultaneamente são: os “braços” de acumulação, que deixam os troncos na vertical após o corte; os quatro rolos de alimentação conectados mecânica ou hidraulicamente, que previnem o deslizamento do feixe de árvores durante o processamento; e a roda de aferição extralarga, que garante o contato constante com o feixe de árvores.

A habilidade de manuseio de mais de um tronco por vez aumenta a produtividade da máquina entre 21 a 33% em média, quando comparado ao manuseio de troncos individualmente. Em média, os ciclos de trabalho com múltiplos troncos são mais longos do que ciclos com troncos únicos, mas a habilidade de processar mais do que um tronco, em cerca de 30 a 40% do total de ciclos, reduz o tempo de colheita por tronco. A qualidade de desgalhamento e a precisão na medição do

comprimento das toras são comparáveis àquelas dos cabeçotes convencionais existentes no mercado, mas dependem da espécie de árvore.

Esta tecnologia é indicada para o corte raso de árvores menores e desbastes comerciais, pois a sua produtividade é menos afetada pelo volume menor das árvores do que os cabeçotes convencionais. O acumulador que mantém os troncos na vertical também pode reduzir os danos nas árvores remanescentes, por possibilitar ao operador controlar a direção de queda das árvores. Trata-se de um cabeçote com boas possibilidades de aplicação nas condições de florestas implantadas no Brasil, inclusive em povoamentos de eucalipto em segunda rotação.

2.3. “Harwarder”

Na operação de extração de madeira com o forwarder, a atividade com o carregador responde por 50 a 75% do tempo gasto pelo trator. Com o intuito de reduzir esse tempo, um sistema integrando corte, geralmente feito pelo harvester, e extração em uma única máquina, “harvester-forwarder” ou “harwarder”, vem sendo testado nos últimos cinco anos (Figura 12). Algumas de suas vantagens referem-se ao trabalho menos monótono, a menor frequência de tráfego em solos “sensíveis” e se evitar a menor capacidade de equilíbrio dos sistemas de desbaste com harvesters.



Figura 12. “Harwarder” Valmet 801 Combi/330 Duo.

O “harwarder” pode ter o espaço de carga montado em uma estrutura móvel (Figura 13), de maneira que as árvores possam ser “introduzidas” na máquina a partir de várias direções de corte. A largura da caixa de carga também é ajustável e a mesma pode ser inclinada para que as toras caiam suavemente. O “harwarder” pode competir com o sistema “harvester + forwarder” se o tempo dispendido com transporte não for uma fração muito grande do tempo total, haja vista que o “harwarder” não deixa de ser um forwarder mais caro.



Figura 13. Vista da caixa de carga móvel do “harwarder” Valmet 801 Combi/330 Duo.

Considerando-se que harvesters e forwarders projetados para últimos desbastes e corte final têm pequena aplicabilidade em desbastes iniciais, principalmente em se comparando os custos elevados de colheita com o baixo valor da madeira obtida, isto fez com que o “harwarder” fosse considerado uma alternativa para essas intervenções iniciais. O desbaste com “harwarders” envolve o processamento dos troncos diretamente na caixa de carga (Figura 12) e alguns estudos com protótipos mostram que a produtividade do “harwarder” pode ser igual ou maior, principalmente em pequenos talhões com distância curta de extração, quando comparado com sistemas de duas máquinas.

Um estudo feito por Sirén (2003) comparou um modelo de “harwarder” (Figura 14) com três modelos de harvesters de menor porte, especialmente projetados para desbastes: Sampo 1046X, Nokka Profi e Assa 810. A Tabela 2 apresenta os preços das máquinas, excluindo-se as taxas, e os custos por hora operacional (E_{15} - inclui interrupções menores do que 15 minutos).



Figura 14. “Harwarder” modelo Pika 828.



Tabela 2. Preços das máquinas (€ excluindo taxas) e custos operacionais (€ por hora E₁₅).

Máquina	Preço da máquina	Custo operacional
	(€)	(€ / E ₁₅)
Sampo 1046X	140 496	54.0
Nokka Profi	223 784	61.5
Assa 810	168 259	56.9
Pika 828 “harwarder”	269 215	62.1
“Forwarder”	172 465	51.2

A proporção média do tempo efetivo bruto (horas E₁₅) foi 84,6% para os “harwarders” e 81,6% para os harvesters projetados para desbaste. A disponibilidade técnica para os “harwarders” era de 79,1% e para os harvesters 84,5%. A produtividade dos “harwarders” foi calculada para uma distância de extração de 250 m e está apresentada na Tabela 3. A Tabela 4 apresenta a produtividade dos harvesters de menor porte em diferentes condições de colheita. Os custos do “harwarder” nesse estudo foram maiores do que os sistemas compostos de harvester e forwarder.

Tabela 3. Produtividade (m³/E₁₅) de “harwarders” em diferentes tipos de corte.

Corte	Produtividade	Tamanho médio do tronco	Remoção média
	(m ³ /E ₁₅)	(dm ³)	(m ³ /ha)
Primeiro desbaste	3,81	89,4	41,5
Último desbaste	4,41	137,0	45,6
Corte raso	7,48	264,6	159,5

Tabela 4. Produtividade (m³/E₁₅) de “harvesters” para desbaste em diferentes tipos de corte. O tamanho médio do tronco (dm³) é dado entre parênteses.

Máquina	1° Desbaste	Último Desbaste	Corte Raso
		(m ³ /E ₁₅)	
Nokka Profi	8,81 (131,1)	10,28 (129,5)	12,07 (168,4)
Sampo 1046X	6,26 (94,6)	7,76 (121,7)	12,97 (302,6)
Assa 810	7,65 (112,0)	10,43 (177,5)	19,47 (465,3)
Total (média)	6,92 (103,6)	9,20 (140,3)	16,18 (336,8)

2.4. “Slingshot”

O cabeçote “slingshot” é um processador do tipo “stroke” (Figura 15), com um único conjunto de garras, que combina corte, acumulação, amontoamento, desgalhamento e processamento em um equipamento de colheita florestal. A sua característica de acumular árvores possibilita a sua utilização em povoamentos florestais de segunda rotação, com mais de um tronco por cepa.



Figura 15. Cabeçote “slingshot” Risley, modelo S1821, acoplado a máquina-base Timberjack 608 (SOUZA et al., 2004).

3. Características do corte mecanizado

Existem diversas vantagens para o corte mecanizado, mas nem todas são aplicáveis igualmente às máquinas de função simples, dupla ou múltipla. Algumas das principais vantagens são:

- a produtividade aumenta com sistemas mais mecanizados;
- os custos de arraste e desgalhamento são reduzidos em função das máquinas e dos homens trabalharem de pilha em pilha em vez de tronco em tronco;
- o corte mecanizado pode ser feito em vários turnos, melhorando a utilização dos equipamentos;
- o corte mecanizado é mais seguro, pois retira o homem do solo.

As principais desvantagens, de efeitos menores do que as vantagens, podem ser citadas como sendo:

- utilização limitada em função do tamanho do tronco (diâmetro);
- alto custo de aquisição, sendo justificado somente para produções elevadas;
- danos à madeira, rachaduras e compressão das fibras (CONWAY, 1976).



4. Bibliografia

- AMABILINI, V.D. Utilização do harvester na exploração florestal. In: I Simpósio sobre Exploração e Transporte Florestal. Belo Horizonte, SIF/UFV, 1991. P. 349-64.
- BRAMUCCI, M.; SEIXAS, F. Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de harvesters na colheita florestal. **Scientia Forestalis**, n.62, p.62-74, dez.2002.
- CONWAY, S. Logging practices: principles of timber harvesting systems. San Francisco, Miller Freeman, 1976. 416 p.
- DURAFLORE. Utilização de feller-bunchers e auto-carregáveis na exploração florestal. In: I Simpósio sobre Exploração e Transporte Florestal. Belo Horizonte, SIF/UFV, 1991. P.325-48.
- FREITAS, M. & ANTIQUEIRA, A.C. Sistema mecanizado de colheita florestal na Champion Papel e Celulose Ltda. In: 1º Congresso Florestal Panamericano, Curitiba, 1993. p. 686-7.
- GINGRAS, J.F. The effects of site and stand factors on feller-buncher performance. **Feric Technical Report**, n.84, p.1-18, nov.1988.
- HAKKILA, P.; MALINOVSKI J. & SIRÉN M. Feasibility of logging mechanization in Brazilian forest plantations. Helsinki, Finnish Forest Research Institute, Research Papers 404, 1992. 68 p.
- MALINOVSKI, R.A.; MALINOVSKI, J.R. **Evolução dos sistemas de colheita de Pinus na região sul do Brasil**. Curitiba, FUPEF, 1998. 138 p.
- OIT. Guia de seguridad e higiene en los trabajos forestales. Ginebra, 1968. 244 p.
- PEÑA, S.V.; COLLADO, J.M. & ALVAREZ, M.A.G. Los tractores en la explotacion forestal. Madrid, Neografis, 1993. 150 p.
- POSSAMAI, E.; OYOLA, R.; RODRIGUES, L.G. Desafios tecnológicos na atividade de colheita florestal. In: **VI Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal**, Belo Horizonte, 2003. **Anais**. Viçosa, SIF/UFV. P. 158-177. 2003.
- SILVA Jr., A.D. Desenvolvimento de “harvester”: a experiência brasileira. In: VII Seminário de Atualização sobre Sistemas de Exploração e Transporte Florestal, Curitiba, 1992. **Anais**. Curitiba, UFPR. P. 34-9.
- SOUZA, A.P.; MINETTE, L.J.; MOREIRA, F.M.T.; MACHADO, C.C.; SILVA, K.R. Análise do desempenho da máquina “slingshot” em subsistemas de colheita em florestas de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.8, n.2/3, p.316-320, 2004.
- STAAF, K.A.G. & WIKSTEN, N.A. Tree harvesting techniques. Dordrecht, Martinus Nijhoff Publishers, 1984. 371 p.
- STOKES, B.J.; ASHMORE, C.; RAWLINS, C.L. & SIROIS, D.L. Glossary of terms used in timber harvesting and forest engineering. USDA, General Technical Report SO-73, New Orleans, Louisiana, 1989. 33 p.

CAPÍTULO V. MOTOSSERRAS: TÉCNICAS DE USO E SEGURANÇA

1. Introdução

A primeira motosserra foi construída no ano de 1916 pelo engenheiro sueco Westfeld. Em 1924, esta mesma motosserra era lançada, com aperfeiçoamentos, com o nome de “Sector” e compreendia um motor a gasolina de dois tempos de 5 cv. Sua corrente de dentes triangulares era acionada diretamente e corria sobre um quadro separado do conjunto-motor.

Na década de 20 apareceu uma motosserra com um novo princípio de funcionamento da corrente que passou a deslizar sobre um sabre que tinha canaletas. Era a “Rapid” com motor a gasolina de quatro tempos de 8 a 10 cv e 72 kg de peso. Durante a 2ª Guerra Mundial foi desenvolvida uma motosserra de “samente” 15 kg que era operada por um único homem.



Figura 1. Diferentes modelos históricos de motosserra

Atualmente existem 50 fábricas de motosserras no mundo, a maioria localizada nos Estados Unidos, Alemanha, Suécia e Japão. Entre as novas motosserras



diversos modelos são muito mais leves, apresentam níveis menores de ruído e menor emissão de gases poluentes, mais ergonômicos (melhor projetados), são providos de amortecedores anti-vibratórios e diversos acessórios de proteção. Sua classificação pode ser resumida em “leve”, “média” ou “pesada”, com base no seu peso, cilindrada e potência (Tabela 1).

Tabela 2. Classificação de motosserras.⁽¹⁾

Classificação	Cilindrada cm ³	Potência kW	Peso vazio kg	Comprimento sabre (pol.)	Consumo de combustível
Leve	40	2	4	12-15	0,8 l/h
Média	60	4	7	16-19	1,6 l/h
Pesada	130	8,5	13	20-35	3,5 l/h

⁽¹⁾ Modificada de HASELGRUBER e GRIEFFENHAGEN (1989)

No Brasil as principais fábricas de motosserras são Husqvarna e Stihl e alguns de seus modelos são citados na tabela 2.

Tabela 3. Exemplos de motosserras fabricadas no Brasil.

DADOS	HUSQVARNA		STIHL	
	272 XP	345 e-series	MS 381	MS 660
Potência	3,6 kW	2,2 kW	3,9 kW	5,2 kW
Cilindrada	72,2 cm ³	45,0 cm ³	72,2 cm ³	91,6 cm ³
Tanque comb.	0,75 L	0,50 L	0,625 L	0,825 L
Peso	6,3 kg ⁽¹⁾	4,8 kg ⁽¹⁾	6,6 kg ⁽¹⁾	7,3 kg ⁽¹⁾
Sabre	38 - 71 cm	33 - 45 cm	33, 40, 50, 63 cm	40, 63, 75 cm

⁽¹⁾ Peso sem conjunto de corte

Já há algum tempo, nas grandes empresas brasileiras de reflorestamento, a motosserra vem sendo substituída como ferramenta de corte por máquinas mais sofisticadas e de maior produtividade, como colhedoras e cortadores-acumuladores. Mesmo assim, ainda é significativo o seu uso nos setores florestal e agrícola em virtude do baixo custo de aquisição e “facilidade” de manuseio. Apesar dessa relativa “facilidade” quanto ao menor nível de sofisticação das motosserras, o seu uso requer treinamento intensivo de no mínimo 1 mês e atenção permanente quanto a alguns aspectos de trabalho característicos da operação com motosserras.



2. Aspectos ergonômicos do uso de motosserras

A Ergonomia é a ciência que trata da adaptação do trabalho ao homem. O serviço de corte de árvores com motosserra é considerado pela Oficina Internacional de Trabalho (1968) como de “grande intensidade” de esforço físico e, além do esforço necessário, existem os problemas relacionados com a motosserra, ou seja, os chamados riscos profissionais caracterizados como “agentes ergonômicos” e que devem ser corrigidos ou minimizados, sendo os seguintes:

- a) Ruído: 102 a 110 dBA.
- b) Vibração: mecânica localizada.
- c) Peso: superior a 7,0 kg.
- d) Posição de trabalho: incômoda (danos à coluna).
- e) Escape: concentração de monóxido de carbono.
- f) Alta velocidade no corte.
- g) O meio: altamente perigoso

Em virtude dos parâmetros aqui descritos requerem-se dos trabalhadores diversos requisitos para que atinjam plena capacidade de trabalho com a máxima segurança, haja vista que, na atividade florestal como um todo, cerca de 10% do total dos acidentes são devidos à motosserra. Sua periculosidade fez com que fosse contemplada com um anexo nas Normas Regulamentadoras 12 (Anexo 1 – página 115) da legislação trabalhista brasileira.

Sant’Anna e Malinovski (2002) realizaram um estudo com 29 operadores de motosserra trabalhando em região acidentada e concluíram que a derrubada foi a atividade na qual ocorreu o maior número de acidentes. De acordo com 35% daqueles operadores, a falta de atenção da parte deles foi apontada como a principal causa de acidentes no corte florestal. Os autores apresentaram também diversos dados sobre a possibilidade de ocorrência de acidentes atingindo diferentes partes do corpo (Tabela 3).

Tabela 4. Acidentes com motosserras: possibilidade de ocorrência (%) e local do corpo atingido (adaptado de SANT’ANNA e MALINOVSKI, 2002).

Membro (% do corpo)	Sant’Anna ¹	Fenner ²	Haselgruber ³	Stephani ⁴
Cabeça (10%)	31	12	20	11
Tronco (36%)	19	16	12	12
Braços e mãos (18%)	13	21	25	34
Pernas e pés (36%)	38	52	43	43

¹ Sant’Anna e Malinovski (2002); ² Fenner (1991); ³ Haselgruber e Grieffenhagen (1989); ⁴ Schweiz e Stephani (1987).



Os requisitos exigidos dos trabalhadores são: alto consumo de calorias por dia; obrigatoriedade do uso de E.P.Is (Equipamentos de Proteção Individual); exigência de treinamento rigoroso e correta manutenção do equipamento.

Ruído

As motosserras nacionais situavam-se em uma faixa de 102 a 110 dB(A) (LACERDA, 1983), ruído correspondente ao barulho de uma motocicleta ou música em alto volume em casas de shows. Por lei, se o operador estiver sem E.P.I., o tempo de uso de motosserra permitido é de 15 minutos por dia. Caso ele esteja com alguma proteção auricular, o tempo de jornada de trabalho permitido passa a ser de 8 horas por dia. Os efeitos dessa intensidade de ruído são:

- a) No organismo em geral:
 - distúrbios gastro-intestinais;
 - sistema nervoso;
 - sistema cardio-circulatório.
- b) No aparelho auditivo:
 - lesões;
 - ruptura do tímpano - surdez.
- c) Ocorrência de acidente motivado por:
 - fadiga;
 - distração;
 - dificuldade de comunicação.
- d) Decréscimo na produção.

Os equipamentos de proteção individual utilizados são os protetores de inserção (descartáveis ou não) e protetores “circum-auriculares” (ou “concha”) (Figura 2). Devem ser recomendados os protetores de “concha” porque, além de sua eficiência, têm a vantagem da facilidade de uso, reduzindo as precauções higiênicas a um mínimo em relação aos do tipo de inserção.



Figura 2. Opções de protetores auriculares: inserção (Esq.); concha (Dir.).



Vibração

O principal problema devido à vibração é o aparecimento da “mão-de-defunto” ou D.B.V. (Dedos Brancos induzidos por Vibração), que seriam ataques de palidez, precipitados pela exposição ao frio, resultados de danos no sistema circulatório dos dedos, além do que o sistema nervoso sensitivo também pode ser afetado pela vibração independente ou em conjunto com o sistema arterial. Esta condição foi reconhecida pelo Dr. Maurice Raynaud em 1882, sendo então chamada de “Mal de Raynaud”. Como medidas de proteção têm-se:

- a) identificação do perigo da “mão-de-defunto” por medição de vibração;
- b) uso de isolantes anti-vibratórios nos suportes manuais das motosserras;
- c) rotação de trabalho para limitar a exposição. Introdução de períodos de descanso de cerca de 10 minutos por hora;
- d) exames médicos na admissão e periódicos, para se detectar os indivíduos mais susceptíveis ao mal e o início do ataque e grau de intensidade;
- e) transferência dos trabalhadores afetados.

Peso

O peso das motosserras ditas de uso “profissional” situa-se a o redor de 7,0 kg. Este peso representa um esforço extra inclusive durante o transporte da mesma pelo operador. Durante a realização da toragem, tarefa que geralmente consome mais tempo, parte do peso da motosserra deve ser sustentada pela perna do operador, logicamente observados os aspectos de segurança, ou a motosserra ser apoiada sobre o tronco abatido.

Posição de trabalho

A posição de trabalho inclinada resulta em sobrecarga de esforço sobre a coluna vertebral do operador. O indivíduo deve procurar sempre que possível concentrar os seus esforços físicos sobre as pernas, flexionando-as e fazendo com que suportem a maior carga de trabalho. Sant’Anna e Malinovski (2002) detectaram que 41,4% dos operadores de motosserra, em uma amostra de 29, revelaram ter problemas esporádicos de lombalgia. Esse fato pode ter se devido às posições adotadas nas tarefas diárias de derrubada e traçamento com motosserra, que exigem o encurvamento da coluna lombar.

Emissão de gases

A motosserra deve estar sempre regulada de acordo com as instruções do fabricante e ser usada a mistura correta de combustível + óleo para se evitar um aumento na emissão de gases prejudiciais à saúde humana (ex.: monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio).



Alta velocidade no corte

A motosserra trabalha em rotações elevadas, por volta de 12.500 r.p.m. (rotações por minuto), sendo que a velocidade da corrente pode atingir até cerca de 30 m/s. Grosso modo, somente para efeito ilustrativo, um único dente da corrente pode passar cerca de 35 vezes pelo mesmo local (um tronco sendo cortado ou a perna do operador) durante o período de 1 segundo apenas.

Essa condição recomenda o uso de equipamentos especiais de proteção tais como calça com camadas de nylon, coturnos com biqueira de aço e luvas próprias para o manuseio de motosserras. Outra consideração a ser feita refere-se à aquisição unicamente de motosserras providas de freio de corrente automático, chapa captora de corrente e proteção no tanque contra quebra de corrente (aba mais larga do lado direito da mão).

O local de trabalho

O trabalho ao ar livre, apesar de algumas vezes mais agradável, implica também em uma série de fatores que não estão sob controle do operador da motosserra: presença de cipós, ventos fortes, inclinação natural das árvores, galhos podres, frutos, insetos, animais peçonhentos, obstáculos no terreno, depressões (buracos) etc.

Isto implica na necessidade de cuidados redobrados e o uso de E.P.Is. apropriados quando do corte de árvores. O operador deve analisar cuidadosamente o local e a árvore a ser abatida antes de iniciar o trabalho propriamente dito. A visualização da interação da árvore com o ambiente ao redor e uma previsão das conseqüências da queda da mesma são pontos fundamentais para o correto planejamento das operações a serem feitas. O tempo dispendido nessa etapa não deve ser considerado como desperdício, mas sim como uma maneira profissional de se trabalhar levando em conta a própria segurança, e de demais pessoas próximas ao local, e a minimização dos possíveis danos a serem causados sobre o ambiente quando da queda da árvore.


3. Equipamentos de proteção individual (EPI's)

O seu uso deve ser difundido por todas as empresas e estimulado o seu emprego por parte dos trabalhadores. Devem-se procurar os equipamentos mais adequados a cada situação, visto que um dos principais problemas é a não aceitação por parte do trabalhador devido ao incômodo causado. A adequação mais a correta transmissão de noções de segurança poderão incrementar o uso de E.P.Is. no setor florestal. A previsão de durabilidade dos equipamentos é a seguinte: capacete (12 meses); botas (6 meses); luvas (4 meses); calças (6 meses). As botas devem ser confeccionadas em material resistente com biqueiras de proteção e solado antideslizante.

Alguns tecidos especiais foram desenvolvidos no caso de calças para operador de motosserra, procurando conciliar resistência a um impacto violento, com leveza, flexibilidade e conforto para o usuário. Roupas muito quentes, ou que dificultam o movimento do usuário, acabam se tornando um problema de segurança. Camadas extras de tecido podem ser adicionadas para aumentar a resistência, mas é quase impossível obter proteção contra motosserras de maior potência e com corte mais agressivo. Uma classificação foi desenvolvida na Europa para avaliar calças, e tecidos em geral, em termos de proteção contra corte (Tabela 4). A velocidade da corrente é definida no manual da motosserra e quanto mais alta a classificação da calça, mais cara e pesada ela é. Existem também dois padrões de calças: tipo **A** e tipo **C**. O tipo **A** protege somente a frente das pernas e pode ser fornecido como perneira, vestida sobre calças convencionais. O tipo **C** geralmente é uma calça e protege ao redor de toda a perna.

Tabela 4. Classificação de calças para motosserristas de acordo com a velocidade da corrente.

Classificação	Velocidade máxima da corrente (m/s)
0	16
1	20
2	24
3	28



O capacete deve oferecer proteção contra golpes e quedas de galhos (Figura 3). A viseira deve cobrir totalmente o rosto para prevenir ferimentos ou lesões causadas por arranhões e pela projeção de serragem ou pó de serra. Já os protetores auriculares protegem o sistema auditivo do operador contra ruídos nocivos e de alta intensidade. Importante ressaltar que com o tempo os abafadores contidos nos protetores auriculares se desgastam, sendo recomendado suas substituições em intervalos regulares.



Figura 3. Capacete para operador de motosserra.



4. Nutrição

O trabalho com motosserras é pesado e perigoso, devendo o operador estar em boas condições físicas, ou seja, bem alimentado. A comida deve ser ingerida antes de iniciar o trabalho e durante os intervalos. Em condições severas não se pode esperar mais de seis horas de trabalho produtivo. Neste caso, deve-se fazer duas pausas nas duas horas iniciais e duas pausas nas duas horas finais de trabalho, para obter-se maior rendimento.

O operador que realiza um trabalho corporal pesado gasta por dia de 4.000 a 5.000 Kcal. Denomina-se Kcal a quantidade de calor necessária para aquecer 1 litro de água de 14,5 a 15,5 °C. O alimento deve ser rico em carboidratos, por exemplo, arroz, milho, mandioca; em proteínas: carne, ovos, pescado; em gorduras: óleos, manteiga e queijo; e em vitaminas: frutas e verduras (Tabela 5). Durante o trabalho estafante e sob calor intenso do clima tropical, o corpo perde de 3 a 6 litros de líquido por dia. Esta perda deve ser recuperada de qualquer maneira através de bebidas não-alcoólicas ou frutas.

Tabela 5. Lista de alimentos básicos e total de Kcal por quantidade específica.

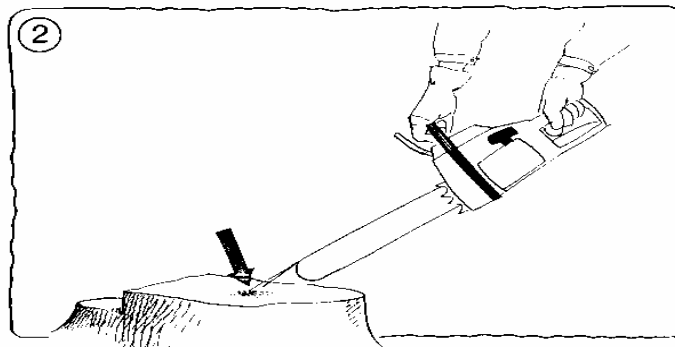
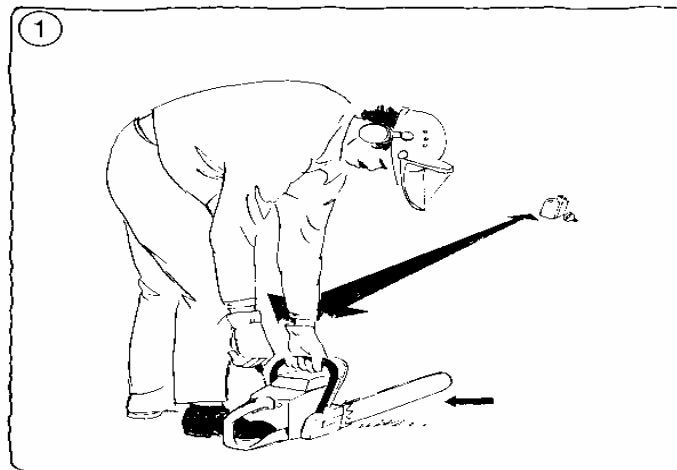
QUANTIDADE	ALIMENTO	CALORIAS (Kcal)
100 g	pão	230
100 g	leite	70
100 g	queijo	400
100 g	feijão	352
1	ovo	75
100 g	carne	150
100 g	batata	90
100 g	macarrão	388
100 g	manteiga	740
100 g	verdura	30
100 g	arroz	368
100 g	banana	99
100 g	abacaxi	56
100 g	açúcar	410
100 g	pescado	242

Pela tabela anterior pode-se calcular a contribuição de calorias de cada alimento ao se elaborar uma refeição, procurando suprir o gasto de energia devido à realização do trabalho com motosserra.

5. Regras básicas no uso de motosserra¹

5.1. Partida da motosserra

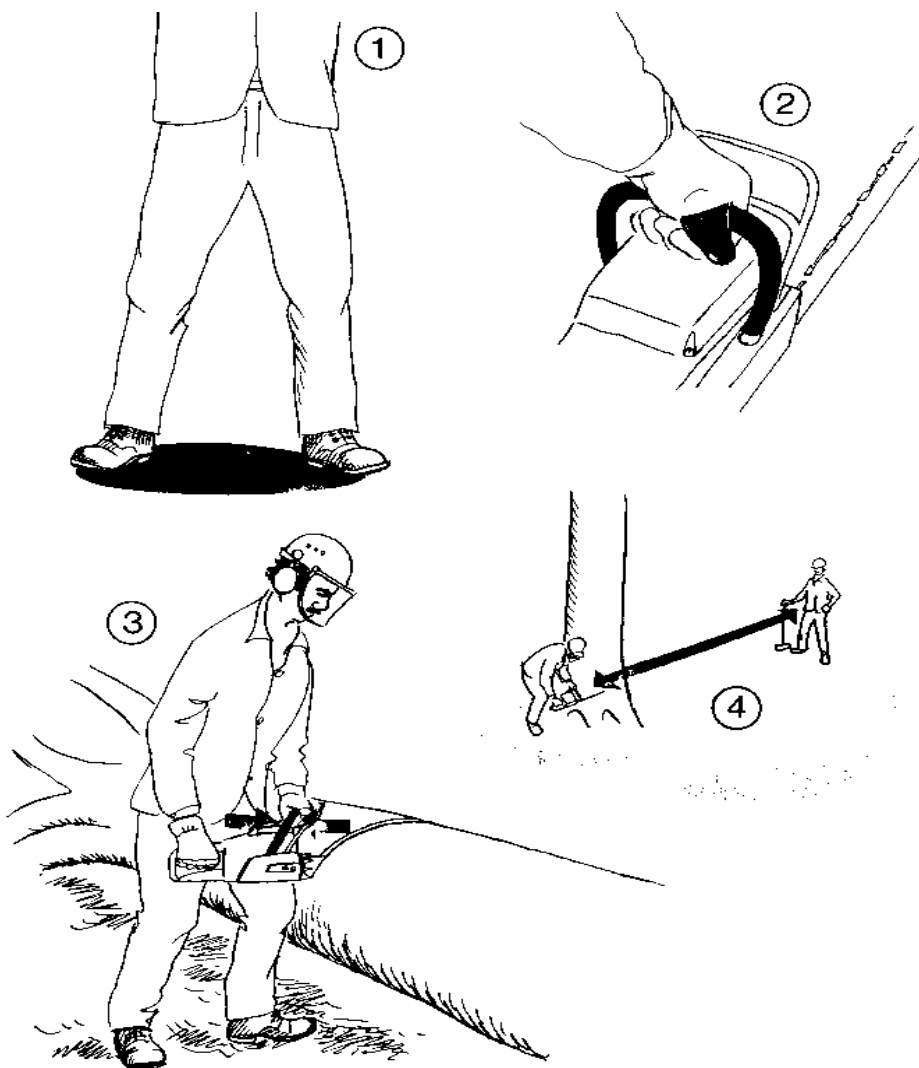
- Afaste a motosserra do local de abastecimento de combustível para evitar incêndios. Verifique que não existam obstáculos próximos à corrente para evitar rebotes.
- Certifique-se que a corrente esteja recebendo óleo de lubrificação adequadamente. Nunca dê partida no motor sem que o sabre e a corrente estejam montados. Desligue o motor quando do deslocamento, a não ser em distâncias curtas.



¹ Os itens de 5 a 8 são traduções do trabalho FAO/OIT (1980).

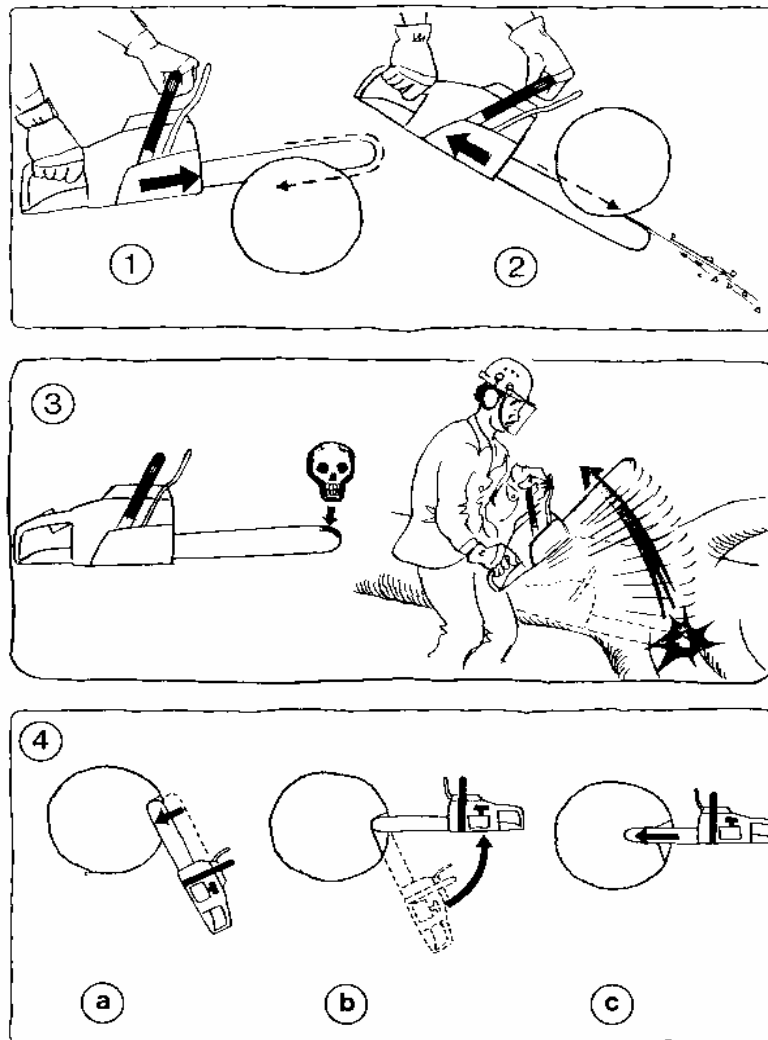
5.2. Regras gerais

- Procure pontos de apoio firme ①.
- O polegar esquerdo deve envolver a alça da motosserra ②.
- Mantenha a motosserra próxima ao seu corpo e procure suportar o seu peso sobre a coxa ③.
- Mantenha uma distância de pelo menos dois (2) metros de outras pessoas da equipe de corte quando a motosserra estiver funcionando ④.



Continuação:

- O corte com a corrente “puxando” é a técnica mais fácil e segura. A ação da corrente faz com que a motosserra seja atraída para a árvore ①.
- O corte com a corrente “empurrando” requer maior esforço, porque faz com que a motosserra se afaste do corte na direção do operador. Esta técnica só se emprega quando o corte “puxando” não seja prático ②.
- Evitar o corte com a ponta do sabre para que não ocorram rebotes ③.
- Para se fazer um corte de ponta, primeiro corte com o lado inferior do sabre e depois levante a motosserra lentamente ④.



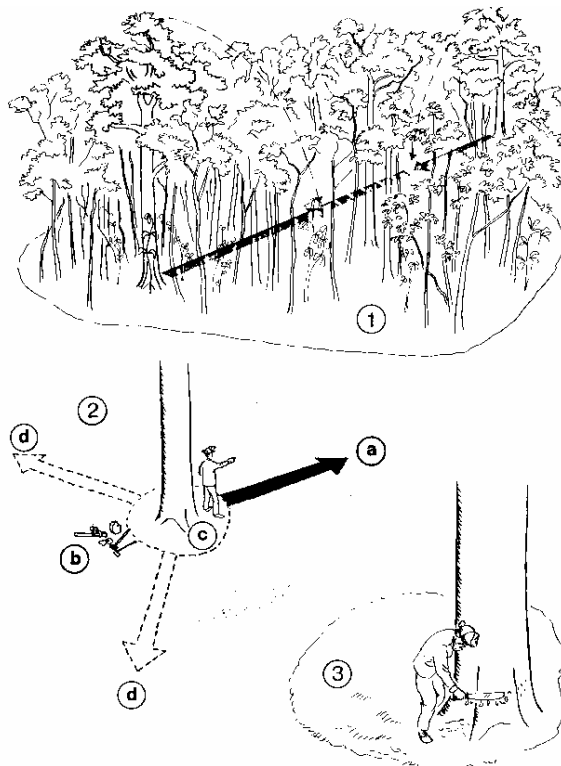
6. Processo básico de corte de árvores

6.1. Preparação para o corte de árvores

O corte é o trabalho mais perigoso entre as operações florestais. Requer trabalhadores bem treinados e com uma sequência de atividades bem planejada.

- A equipe de corte deve-se manter a uma distância mínima equivalente a **DUAS VEZES** a altura das árvores dos outros trabalhadores. Esta distância pode ser aumentada em até quatro vezes quando a visibilidade na floresta for muito difícil.
- A direção de queda deve ser determinada cuidadosamente. Esta dependerá do sentido da extração da tora, inclinação da árvore, vento, obstáculos na direção de queda e no solo, assim como também de uma rota de fuga segura.
- Quando a direção de queda tiver sido determinada, as ferramentas devem ser colocadas no sentido oposto atrás da árvore (b).

Deve-se limpar a área de trabalho ao redor da árvore (c) e estabelecer duas vias de fuga (d) separadas em um ângulo de 45°, aproximadamente, e tão longas quanto necessário. A base da árvore deve ser limpa, usando um facão ou machado, para evitar que a corrente perca a afiação rapidamente.

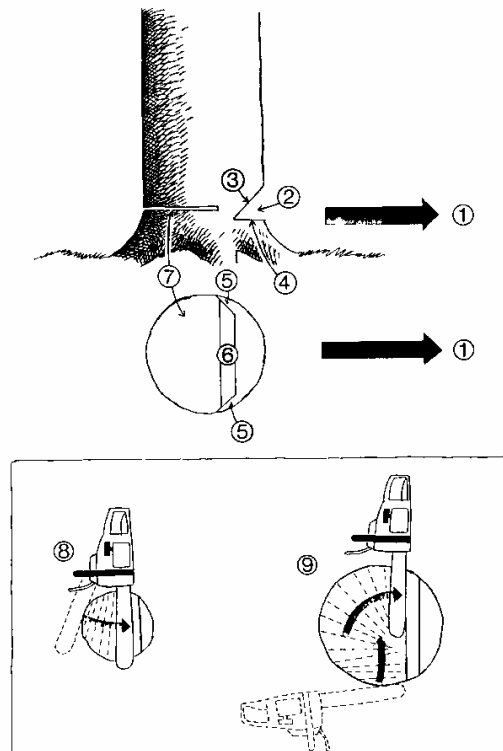


6.2. Corte de árvores pequenas

Árvores pequenas são geralmente derrubadas por um operador de motosserra sem ajudante. Se o desgalhe for feito com machado ou facão a equipe poderá estar formada por dois ou mais homens. Árvores de aproximadamente 60 cm de diâmetro caem facilmente na direção desejada se apresentarem forma regular.

Depois de se estabelecer a direção de queda (1) e limpar a base da árvore, assim como as rotas de fuga, o abate da árvore se inicia com o corte de direcionamento (“boca”) (2), que deve penetrar em 1/5 a 1/4 do diâmetro da árvore. Essa “boca” deve ter um ângulo de aproximadamente 45 graus.

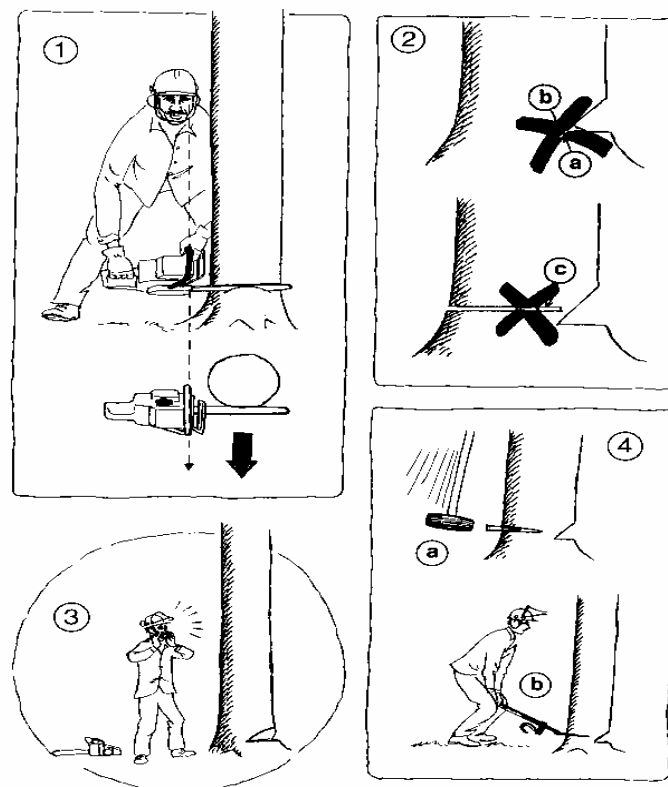
Primeiro se faz um corte oblíquo (3). Depois um corte horizontal (4) que deve se encontrar com o corte oblíquo. Se os tocos tiverem a tendência de arrancar lascas das árvores, como é usual em madeiras mais “macias”, a “boca” deve ser terminada com pequenos cortes laterais (5) em ambos os lados da “dobradiça” (6). O corte de queda (7) também deve ser horizontal. A sua posição é de 2,5 a 5 cm acima da base do corte de direcionamento (“boca”). A dobradiça é necessária para guiar a árvore durante a queda. Se o comprimento do sabre for maior do que o diâmetro da árvore, o corte de queda pode ser feito em um movimento (8). Se for menor, deve-se mudar a posição da motosserra várias vezes (9).



6.3. Precauções ao se fazer a “boca” e o corte de queda

O corte feito de maneira adequada permite maior segurança, facilita as operações subseqüentes e reduz as perdas de madeira. O corte deve ser feito, portanto com muito cuidado e precisão. A “boca” é a parte mais importante da operação de corte e deve estar orientada exatamente na direção de queda (1).

- O corte oblíquo (a), o corte horizontal (b) e o corte de queda (c) não devem se aprofundar demasiadamente, conforme é indicado. Deve-se reservar madeira suficiente para atuar como dobradiça e poder manter o controle da árvore de modo que não se rache, resvale ou gire sobre o toco e caia em outra direção que não a prevista (2).
- Antes de iniciar o corte de queda o operador deve dar um grito de advertência (3).
- Uma ferramenta adicional importante para o corte é a cunha (a) ou uma alavanca de corte (b), que servem para empurrar a árvore na direção desejada ao se terminar o corte de queda, desde que necessário (4). Quando a árvore começar a cair o operador deve se afastar por uma das rotas de fuga previamente estabelecidas, cuidando para não ser atingido pela possível queda de galhos e outros objetos.

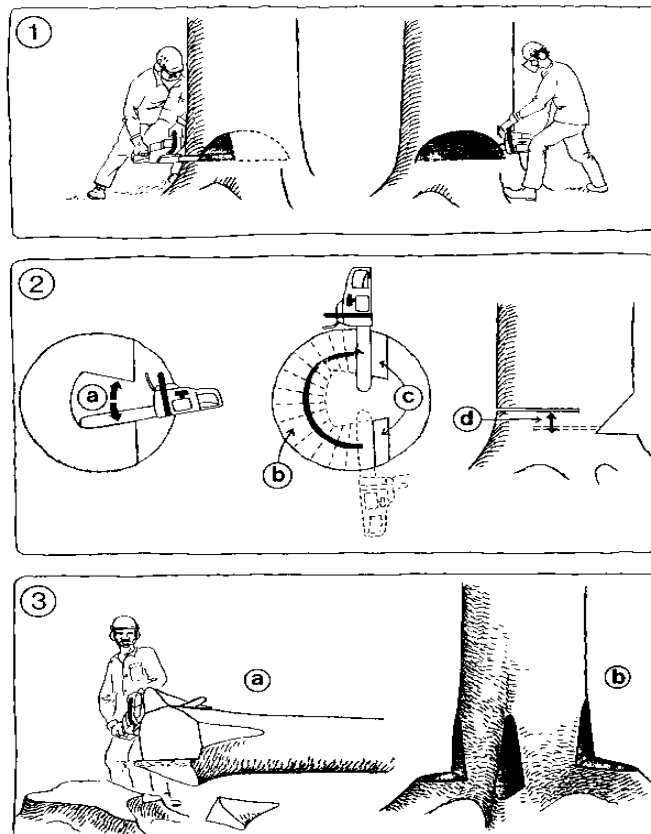


6.4. Corte de árvores maiores

Se o diâmetro da árvore tem até o dobro do comprimento do sabre, pode ser necessário fazer a “boca” a partir de ambos os lados. Para evitar que a corrente fique presa durante o corte, primeiro se faz o corte horizontal e depois o corte oblíquo (1).

Depois se faz um corte central na “boca” (a). Finalmente, é feito o corte de queda (b), mantendo-se uma dobradiça em ambos os lados da árvore com uma largura de pelo menos 5 cm (c). O corte de queda deve ser feito entre 10 a 20 cm (ou mais) acima da base do corte de direcionamento (d) (2).

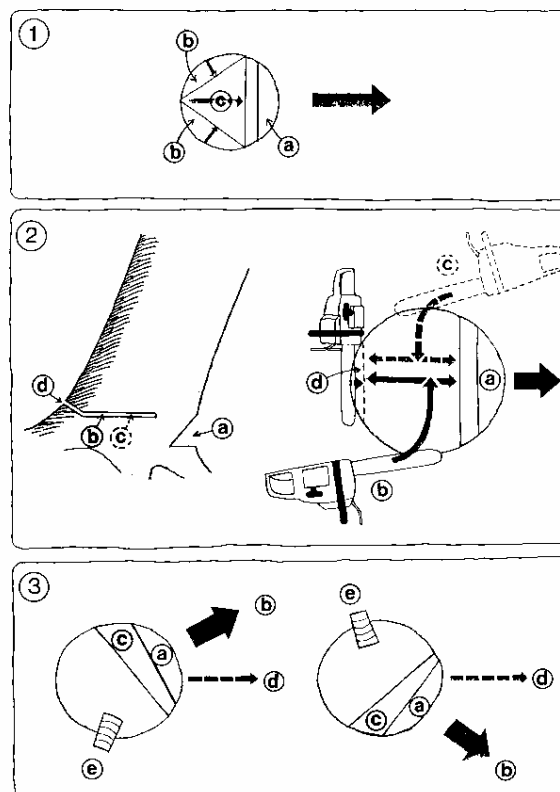
É mais seguro não eliminar sapopemas pequenas antecipadamente. Se for necessário para se facilitar o transporte, as sapopemas podem ser cortadas após a queda da árvore (a). Se o sabre for muito curto pode ser conveniente eliminar uma ou todas as sapopemas antes do corte (b) (3). Como regra, é preferível usar um sabre mais curto para se carregar menos peso e facilitar o uso da motosserra.



6.5. Corte de árvores inclinadas

Se a árvore estiver muito inclinada na direção de queda, a seguinte técnica evitará que a árvore se rache ou que a corrente fique presa durante o corte.

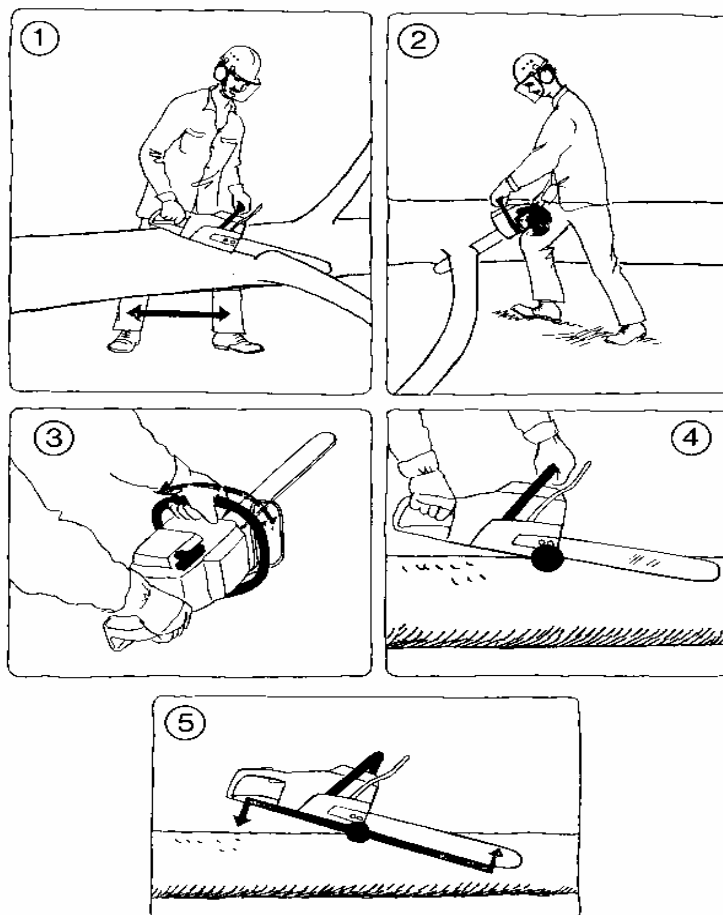
- Depois de fazer a “boca” em uma árvore pequena (a), o corte de queda deve ser feito em três seções. As duas seções (b) são cortadas primeiro e depois a seção restante (c) (1).
- Em uma árvore maior, a “boca” (a) não deve exceder mais do que 1/4 do diâmetro. Do contrário o sabre poderá ficar preso durante o corte. O corte de queda se inicia mediante um corte de ponta em um lado (b). Em árvores maiores, um segundo corte de ponta é feito no outro lado (c). Deve-se deixar madeira suficiente para sustentação (d). Esta se corta finalmente com um corte oblíquo (2).
- Uma árvore também pode ser cortada em um ângulo distante cerca de 30 graus da inclinação. Neste caso, a “boca” (a) deve estar orientada na direção de queda (b). A dobradiça (c) deverá ser mais estreita do lado da inclinação (d) e mais larga no lado para onde se deseja girar a árvore durante a queda. Além disso, uma cunha (e) introduzida no lado da inclinação ajudará a direcionar a queda da árvore (3).



7. Desrama

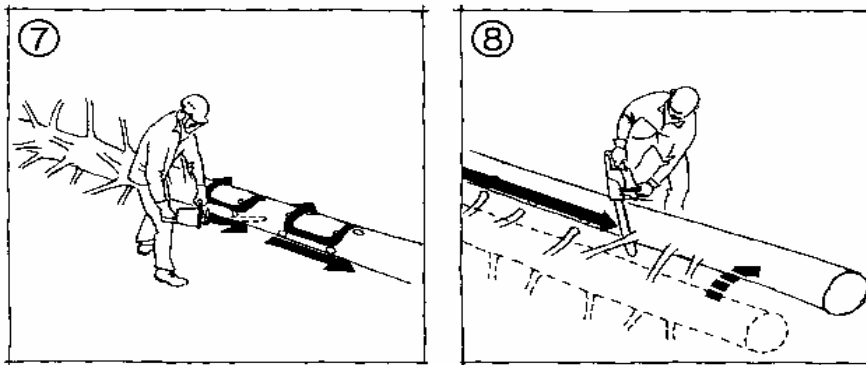
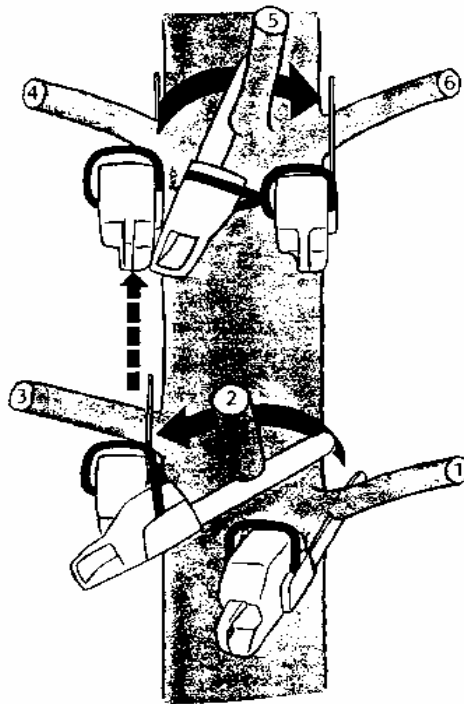
7.1. Regras básicas

- Mantenha-se em uma posição segura de trabalho e previna-se de obstáculos.
- Mantenha a vista na motosserra e, se possível, suporte o seu peso sobre a coxa.
- Ajuste a posição de agarre da alça de acordo com a posição da motosserra.
- Se possível, deixe que a árvore suporte o peso da motosserra.
- Use a motosserra como uma alavanca com o apoio de corte como ponto de fixação.



7.2. Desrama de coníferas pequenas ou médias

A desrama com motosserras requer operadores muito experientes. É recomendável adotar uma seqüência de trabalho metódico, seguindo os “anéis” de ramos. O operador se coloca do lado esquerdo da árvore. Avança desde a base até a copa da árvore. A motosserra se move da direita para a esquerda no primeiro anel (1) (2) (3) e depois se move para o próximo anel, cortando desta vez da esquerda para a direita (4) (5) (6). Esta técnica implica que parte da desrama se faz com a corrente “empurrando” (1) (2) (4) (5) e o restante, (3) (6), com a corrente “puxando”.



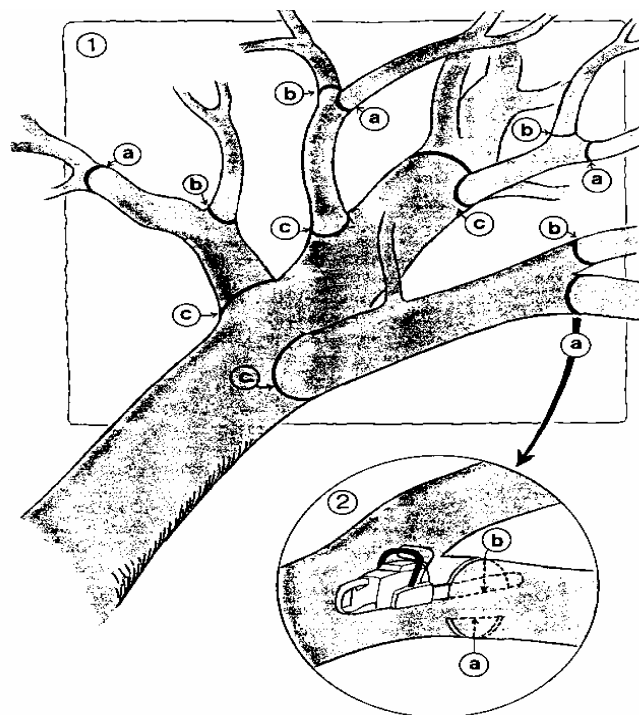
7.3. Desrama de árvores grandes

Esta operação requer muita atenção para evitar:

- que o sabre fique preso durante o corte;
- que se rache a madeira;
- que o operador se acidente com ramos que rebotem ou caiam, ou por mudança de posição da árvore.

Devem-se observar as seguintes regras:

- Elimine primeiro os ramos que estejam servindo de obstáculo para o serviço.
- Corte os ramos em duas ou mais partes quando exista perigo de rachaduras na base ou quando isto facilite o trabalho de eliminação de ramos (a) (b) (c).
- Mantenha o local de trabalho livre de ramos.
- É muito importante observar a tensão da madeira. Quando o ramo for grande, corte primeiro o lado sob **compressão** (a). Retire o sabre antes que fique preso no corte. Depois corte o outro lado (b).



8. Toragem

A toragem de uma árvore em peças de diferentes comprimentos visa o sistema de colheita utilizado e as exigências do mercado consumidor. Na exploração de florestas implantadas em nosso país, o sistema mais comumente empregado é o de Toras Curtas, com toretes ao redor de 2,20 m de comprimento, principalmente em função do transporte primário da madeira, que anteriormente empregava basicamente animais e mão-de-obra pouco qualificada, e das dificuldades de recebimento de peças de maior porte nos pátios das indústrias.

A importância e as vantagens de se trabalhar com peças de maior comprimento já foram descritas no primeiro capítulo, existindo hoje uma tendência em se aumentar esses comprimentos por parte das grandes empresas. Isso implica em ganhos no serviço de corte em termos de produtividade e segurança do trabalho, além das vantagens no carregamento e descarregamento dos caminhões do transporte principal.

Nas nossas condições de florestas implantadas, parte do serviço ainda é feito com motosserras dentro do talhão. Em empresas com um nível de mecanização mais elevado, são utilizadas máquinas como harvester, processador e guias seccionadoras montadas em tratores adaptados para o serviço florestal (Figura 4). A mudança para sistemas de Toras Longas implica na necessidade de equipamentos próprios para recebimento no pátio da indústria, desde mesas com serra circular até máquinas para descarregamento dessas toras maiores, ou mesmo máquinas móveis que fariam o processamento nos carregadores.

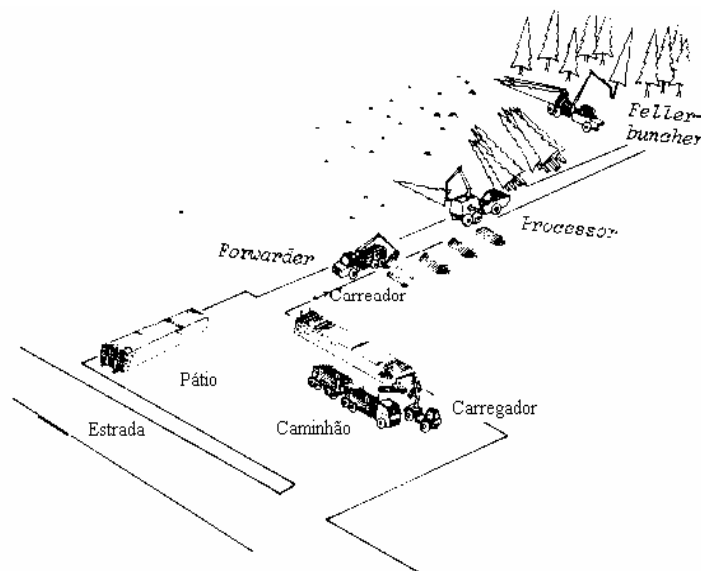


Figura 4. Processador integrado em um sistema de colheita onde o desgalhamento e a toragem são feitos nos carregadores (STAAF e WIKSTEN, 1984).

- Técnicas de toragem com motosserras

Quando da realização da toragem o operador deve considerar as seguintes variáveis: a) as condições do terreno e a sua influência na árvore a ser processada; b) árvores e toras ao redor e como elas irão atuar após a operação iniciar-se; c) como a árvore deverá ser cortada, procurando facilitar a operação; d) a segurança, ou ausência desta, resultante da interação de todas as variáveis.

Conforme as situações do terreno, a presença de árvores, tocos, além de outras variáveis, deverá ser utilizado um esquema diferente quando da realização da operação de toragem.

Árvore bi-apoiada: essa situação ocorre quando a árvore fica parcial ou completamente suspensa entre dois pontos, conforme a Figura 5. Isto causa compressão na parte superior e deixa a parte inferior sob tensão.

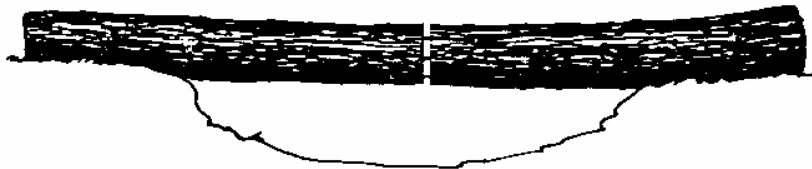


Figura 5. Árvore bi-apoiada (Conway, 1976).

Quando se realizar o corte, para que o sabre da motosserra não seja comprimido e fique pendurado, deve-se fazer um (ou mais) corte(s) de “alívio” na parte superior e terminar a toragem com um corte final na parte inferior. As profundidades dos possíveis cortes dependerão do tamanho das árvores, da espécie etc.

Árvore sob compressão na parte inferior: conforme mostra a Figura 6, a parte superior agora está sob tensão e deverá ser cortada no final, iniciando-se a toragem pela parte inferior com um corte de “alívio”.

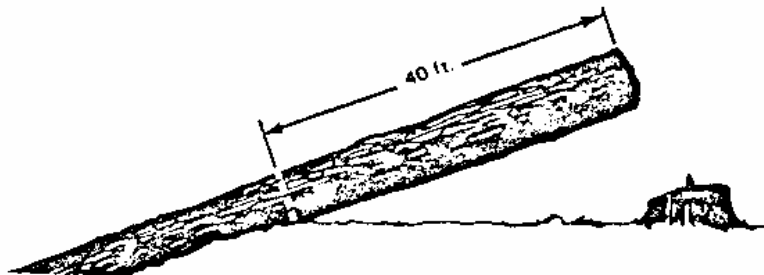


Figura 6. Árvore sob compressão na parte inferior (Conway, 1976).

Árvore sob tensão lateral: quando da queda a árvore pode ficar encaixada entre alguns obstáculos fazendo com que a mesma fique flexionada, libertando-se quando o operador realizar a toragem. Conforme é visto na Figura 7, existe um grave problema de segurança, sendo que também deve-se tomar cuidado para que a motosserra não fique presa no lado sob compressão. Neste lado deverá ser feito primeiramente um corte de “alívio”, completando-se depois a toragem com um corte no lado sob tensão.

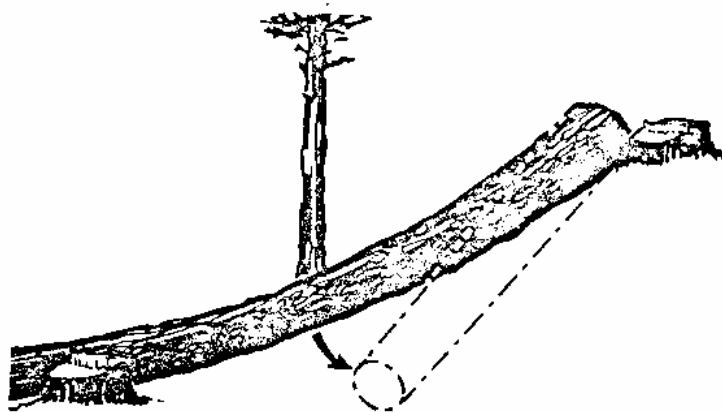


Figura 7. Árvore sob tensão lateral (Conway, 1976).

O operador deverá ficar em uma posição segura, de preferência do lado da árvore que esteja sob compressão.

Árvore pendente: essa situação existe quando uma extremidade da árvore está bem apoiada e a outra não, conforme ilustrado na Figura 8. Deve-se realizar um corte inclinado no sentido da extremidade não apoiada, pois evita-se que o sabre fique preso durante a operação em virtude da pressão que será feita gradativamente pela extremidade não apoiada.

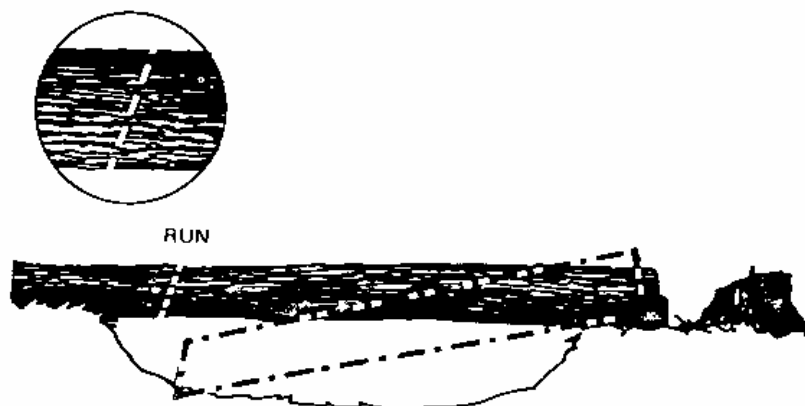


Figura 8. Árvore pendente (Conway, 1976).



9. Formação profissional de operadores de motosserra

Os operadores de motosserra necessitam de formação profissional básica e instrução para poder trabalhar de forma eficiente e segura, evitando danos à máquina e à madeira que irá produzir e muito menos, e mais importante, a sua saúde.

A formação profissional básica inclui demonstrações e exercícios práticos sobre corte, desrama e toragem, assim como afiação de corrente e manutenções diárias e semanais. O período necessário de formação profissional básica dependerá da experiência que o aluno tenha. Um mínimo de duas semanas é suficiente para pessoas com alguma experiência. Para a formação profissional necessitam-se instrutores qualificados, os quais deverão conduzir grupos pequenos a cada oportunidade.

10. Bibliografia

CONWAY, S. Logging practices: principles of timber harvesting systems. San Francisco, Miller Freeman, 1976. 416 p.

FAO/OIT. Motosierras en los bosques tropicales. Collección FAO: Capacitación, Roma, 2. 96 p.

FENNER, P. T. **Estudo descritivo de acidentes do trabalho em uma empresa florestal**. Curitiba, 1991. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

HASELGRUBER, F.; GRIEFFENHAGEN, K.F.G. Motosserras: mecânica e uso. Porto Alegre, Metrópole, 1989. 136 p.

LACERDA, E. A motosserra na exploração florestal: aspectos ergonômicos no seu uso - a segurança e a medicina do trabalho. Silvicultura, São Paulo, 8(28):565-6, jan/fev, 1983.

OFICINA INTERNACIONAL Del TRABAJO. Guia de seguridad e higiene en los trabajos forestales. Ginebra, Imprenta Kundig, 1968. 244 p.

SANT'ANNA, C.M.; MALINOVSKI, J.R. Avaliação da segurança no trabalho de operadores de motosserra no corte de eucalipto em região montanhosa. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 75-84. 2002.

SCHWEIZ, F.Z.; STEPHANI, P. **Die Holzernte**. Basel: Friedrich Reinhardt Verlag. 1987. 424 p.

STAAF, K.A.G.; WKSTEN, N.A. Tree harvesting techniques. Dordrecht, Martinus Nijhoff, 1984. 371 p.



ANEXO I –

MOTOSSERRAS NR 12 - MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

1. FABRICAÇÃO, IMPORTAÇÃO, VENDA, LOCAÇÃO E USO DE MOTOSSERRAS

É proibida a fabricação, importação, venda, locação e o uso de motosserras que não atendam às disposições contidas neste Anexo, sem prejuízo dos demais dispositivos legais e regulamentares sobre Segurança e Saúde no Trabalho.

2. PROIBIÇÃO DE USO DE MOTOSSERRAS.

É proibido o uso de motosserras a combustão interna em lugares fechados ou insuficientemente ventilados.

3. DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA

As motosserras, fabricadas e importadas, para comercialização no País, deverão dispor dos seguintes dispositivos de segurança: a) Freio Manual de Corrente; b) Pino Pega Corrente; c) Protetor de Mão Direita; d) Protetor de Mão Esquerda; e) Trava de Segurança do Acelerador.

3.1 Para fins de aplicação deste item, define-se:

- a) Freio Manual de Corrente: dispositivo de segurança que interrompe o giro da corrente, acionado pela mão esquerda do operador;
- b) Pino Pega Corrente: dispositivo de segurança que, nos casos de rompimento da corrente, reduz seu curso, evitando que atinja o operador;
- c) Protetor da Mão Direita: proteção traseira que, no caso de rompimento da corrente, evita que esta atinja a mão do operador;
- d) Protetor da Mão Esquerda: proteção frontal que evita que a mão do operador alcance, involuntariamente, a corrente, durante a operação de corte;
- e) Trava de Segurança do Acelerador: dispositivo que impede a aceleração involuntária.

4. RUÍDOS E VIBRAÇÕES

Os fabricantes e importadores de motosserras instalados no País introduzirão nos catálogos e manuais de instruções de todos os modelos de motosserras, os seus níveis de ruído e vibração e a metodologia utilizada para a referida aferição.

5. MANUAL DE INSTRUÇÕES

Todas as motosserras fabricadas e importadas serão comercializadas com Manual de Instruções, contendo informações relativas à segurança e à saúde no trabalho, especialmente:

- a) riscos de segurança e saúde ocupacional;
- b) instruções de segurança no trabalho com o equipamento, de acordo com o previsto nas Recomendações Práticas da Organização Internacional do Trabalho;
- c) especificações de ruído e vibração, e



d) penalidades e advertências.

6. TREINAMENTO OBRIGATÓRIO PARA OPERADORES DE MOTOSSERRAS

Deverão ser atendidos os seguintes:

6.1 Os fabricantes e importadores de motosserras instalados no País, através de seus revendedores, deverão disponibilizar treinamento e material didático para os usuários de motosserras, com conteúdo programático relativo à utilização segura da motosserra, constante no Manual de Instruções.

6.2 Os empregados deverão promover a todos os operadores de motosserra treinamento para utilização segura da máquina, com carga horária mínima de 8 (oito) horas, com conteúdo programático relativo à utilização segura da motosserra, constante no Manual de Instruções.

Os certificados de garantia dos equipamentos contarão com campo específico, a ser assinado pelo consumidor, confirmando a disponibilidade do treinamento ou responsabilizando-se pelo treinamento dos trabalhadores que utilizarão a máquina.

7. ROTULAGEM

Todos os modelos de motosserra deverão conter rotulagem de advertência indelével e resistente, em local de fácil leitura e visualização do usuário, com a seguinte informação:

O uso inadequado da motosserra pode provocar acidentes graves e danos à saúde.

8. PRAZO

A observância do disposto nos itens 4, 6 e 7 será obrigatória a partir de janeiro de 1995.



CAPÍTULO VI. EXTRAÇÃO

1. Introdução

A operação de extração refere-se à movimentação da madeira desde o local de corte até o carreador, a estrada ou um pátio intermediário. Existem vários sinônimos desta operação, muitas vezes dependendo do modo como ela é realizada ou do tipo de equipamento utilizado, podendo ser citados os mais comuns como baldeio, arraste, encoste e transporte primário. A madeira no baldeio é transportada apoiada sobre uma plataforma, como um “trailer” ou um trator autocarregável (forwarder). A operação de arraste implica em uma parte, ou o todo, da carga estar apoiada sobre o solo, podendo ser feita por guinchos ou trator arrastador (skidder), dentre outros. Existe também a retirada da madeira suspensa por meio de teleféricos, mas esse sistema ainda é pouco utilizado no Brasil.

A conceituação de transporte primário refere-se a esta primeira movimentação da madeira até um ponto onde ela será transferida para veículos que farão o transporte final, chamado de transporte florestal, da floresta até o centro de consumo. Contudo, em certas condições de topografia favorável, o próprio caminhão que faz o transporte até a fábrica retira também a madeira de dentro da floresta, ocorrendo o que se chama de transporte direto. A eliminação do “transbordo”, o carregamento da madeira já empilhada na margem dos carreadores nos caminhões e a utilização de um único equipamento para todo o transporte podem inicialmente apresentar alguma vantagem econômica, mas pode resultar em danos ao povoamento, devido ao maior impacto dos caminhões, contribuindo para a compactação e distúrbios do solo. Pressões de contato aplicadas sobre o solo por algumas máquinas florestais chegam a atingir por volta de 100 kPa, enquanto os rodados de caminhões alcançam até 290 kPa quando carregados (Greacen e Sands, 1980; Mialhe, 1993). No caso de distâncias curtas da floresta até o centro de consumo (média de 12 km), utiliza-se também para transporte direto da versão madeireira de um caminhão articulado e reboque “Timber-Hauler”, com capacidade aproximada de 42 toneladas de carga, porém com limitação legal de uso exclusivo em estradas particulares (Figura 1).

No Brasil, os pequenos produtores continuam utilizando animais e caminhões “toco” (4 x 2) para retirada de madeira da floresta. Em alguns casos, o “tombo” manual, extração arremessando toras morro abaixo, ainda é uma realidade, mas trata-se de um trabalho que certamente será substituído, em virtude do elevado desgaste físico. Tratores florestais como Forwarders e Skidders vêm sendo adquiridos pelas grandes empresas, mas ainda possuem limitações quanto ao uso mais amplo pelos empreiteiros, devido ao custo elevado de aquisição.



Figura 1. “Timber-hauler” Volvo modelo A25C

O investimento em equipamentos especializados depende do aporte financeiro disponível nas empresas, as quais muitas vezes optam por equipamentos mais versáteis, que possam ser utilizados em diferentes operações (preparo de solo, abertura de estradas, transporte etc.), em detrimento de equipamentos tecnologicamente mais adequados. As diversidades regionais encontradas também impedem uma padronização do equipamento, o que dificulta a colocação de equipamentos florestais especializados em um pequeno mercado consumidor. Por diversas vezes, a adaptação de tratores agrícolas pode constituir-se na alternativa mais viável economicamente.

2. Fatores de influência

O transporte primário é um dos pontos críticos da colheita florestal, exigindo um planejamento detalhado da operação de maneira a empregar os equipamentos próprios dentro do sistema mais indicado de trabalho. Para tanto, os fatores de influência têm que ser corretamente avaliados, considerando-se os respectivos pesos de importância para cada um.

Densidade do talhão: esta densidade está relacionada com o número de árvores exploradas por área e o volume das pilhas de madeira, que influencia diretamente na operação de carga. Em florestas com baixa densidade o tempo de viagem do equipamento aumenta, a produção fica abaixo da média e os custos unitários tornam-se maiores.

Topografia: a questão da inclinação do terreno delimita o equipamento a ser utilizado, influenciando diretamente o rendimento da máquina escolhida. Deve ser respeitada para cada equipamento a sua capacidade máxima de trabalho de acordo com a declividade e acidentes do terreno (Figura 2).

Em alguns terrenos, os danos resultantes da erosão e dificuldades de regeneração muitas vezes impedem a utilização de determinados equipamentos que poderiam trabalhar naquela inclinação. Como exemplo, um limite máximo aceitável para o trabalho com tratores de esteiras estaria entre 50 e 60%, sendo que acima disso, mesmo a construção de estradas ou trilhas passa a ser desaconselhável em virtude do alto custo de construção, remoção de solo produtivo e ocorrência de erosão (Conway, 1976).

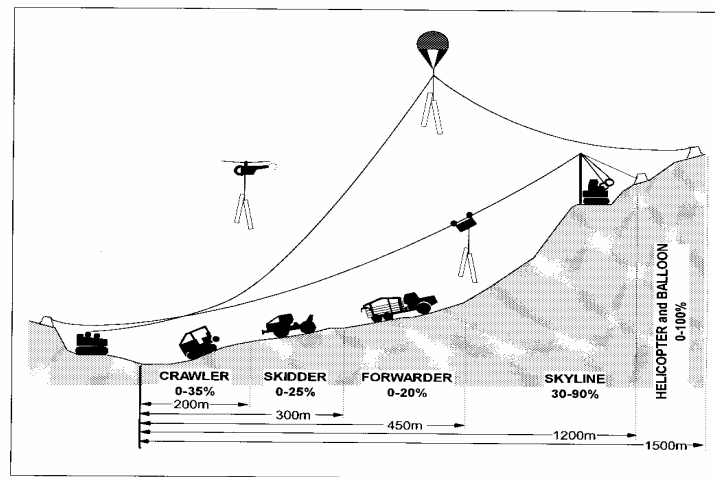


Figura 2. Limites de distância de transporte e declividade de terreno para diferentes sistemas de colheita (Modificado de STUDIER e BINKLEY, 1981).

Tipo de solo: o tipo de solo está relacionado com a capacidade de sustentação do equipamento e a sua capacidade de tração. Essas características são função também do teor de umidade do solo, ocorrendo um processo de compactação acentuada em teores mais elevados de umidade e mesmo, por vezes, a total incapacidade de movimentação do veículo em uma determinada condição de tipo de solo e conteúdo de umidade (Figura 3).



Figura 3. Trator atolado em virtude da baixa capacidade de sustentação do solo.

Em um solo com baixa capacidade de sustentação do equipamento deve ser estabelecida uma rota para cada ciclo da máquina, sendo muito importante a correta escolha do equipamento e o tipo de rodado. A título de ilustração da capacidade de trabalho, a Tabela 1 mostra alguns coeficientes de tração para skidders de pneus e esteira variando conforme o tipo de solo. O produto do peso do trator de esteiras ou peso do eixo traseiro pelo coeficiente de tração nos dá a força máxima que pode ser transmitida antes que a esteira ou pneus deslizem.

Tabela 6. Coeficientes de tração para pneus e esteiras de acordo com o tipo de solo.

Tipo de Solo	Pneus	Esteiras
Barro arenoso seco	0,55	0,90
Barro arenoso úmido	0,45	0,70
Barro arenoso sulcado	0,40	0,70
Areia seca	0,20	0,30
Areia úmida	0,40	0,50
Terra firme	0,55	0,90

Volume por árvore: quanto menor a árvore, maior o custo operacional por unidade de produção. Peças maiores significam a necessidade de um menor número para se completar uma carga, o que diminui os custos operacionais variáveis. Contudo, o incremento no tamanho das árvores acima de um determinado ponto, dependendo da capacidade da máquina empregada, pode eliminar certas vantagens. Peças muito grandes podem dificultar o seu manuseio e exigir maior potência dos equipamentos.

Distância de transporte: o planejamento inicial feito na floresta, em termos da dimensão dos talhões e densidade e qualidade da rede viária, já determina a

distância de transporte e condiciona a seleção dos equipamentos mais adequados para cada situação. Contudo, o inverso também deve ser considerado, ou seja, a escolha do sistema de transporte mais adequado a uma empresa pode vir a condicionar a rede viária necessária.

O custo da rede viária decresce com o aumento da distância de extração, já que cada quilômetro de estrada irá acessar uma área maior de floresta e, conseqüentemente, um maior volume de madeira. Por sua vez, o custo de extração cresce com o aumento da distância a ser percorrida. Deve ser determinado um ponto de equilíbrio que considere o custo total mínimo resultante da combinação dos custos de extração e construção de estradas por metro cúbico de madeira (Figura 4). Plamondon e Favreau (1994) desenvolveram a seguinte expressão matemática para o cálculo do espaçamento ótimo de estradas florestais:

$$S = 2\sqrt{\frac{Cr}{a.Q}}$$

em que

S = espaçamento até a próxima estrada (m);

Cr = custo da estrada por unidade de comprimento (R\$/m);

a = custo variável da extração de madeira (R\$/m³); e

Q = volume de madeira por unidade de área (m³/ha).

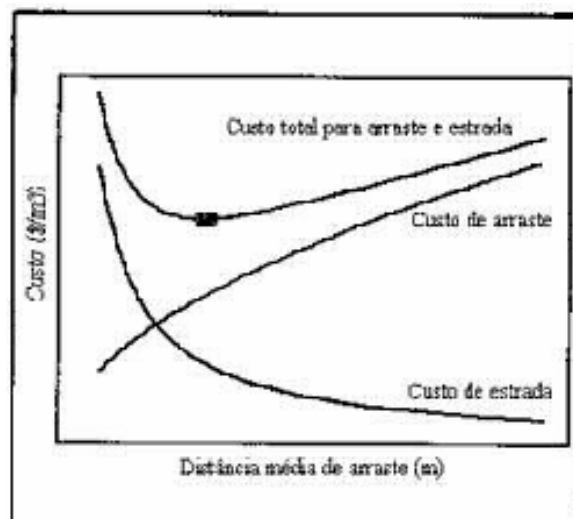


Figura 4. Custo total combinado para transporte primário e rede viária em função da distância média de transporte (PLAMONDON e FAVREAU, 1994)

3. Sistemas de transporte primário

É de grande importância para a viabilidade das operações florestais que a extração seja desenvolvida ao menor custo possível. Para se obter sucesso neste aspecto é necessário conhecer todos os fatores que influenciam na produção da extração, a utilização dos meios disponíveis e estrutura dos custos parciais da operação. Os mais importantes seriam o tempo de viagem, os tempos terminais (carregamento e descarregamento), o tamanho da carga, grau de utilização dos equipamentos, os custos de salários, as máquinas e os materiais (STAAF e WIKSTEN, 1984).

3.1. Transporte primário manual

Trata-se ainda de um sistema utilizado com toras de pequenas dimensões nos primeiros desbastes de *Pinus* spp, pela ausência de espaço para a entrada de máquinas e pelo corte raso em locais acidentados devido à falta de equipamentos adequados. Exige distâncias de extração pequenas, indicando-se de 20 a 25 m. Além do esforço físico requerido, os acidentes e a declividade do terreno também contribuem para diminuir o rendimento e esgotar o trabalhador (Figura 5).

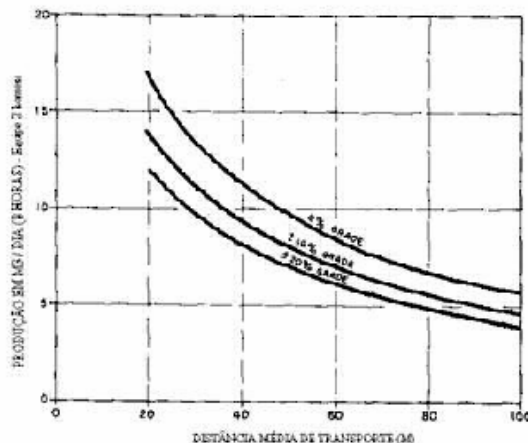


Figura 5. Rendimentos de extração de madeira com equipe de dois homens (FAO, 1974).

O chamado “tombo” manual em terrenos declivosos consiste no arremesso de toretes de 2,20 m morro abaixo até à margem das estradas (Figura 6), feito a uma distância máxima de 70 m em declividades superiores a 30%, apresentando um rendimento médio entre 10 a 12 st/homem.dia (Seixas, 1987). A CENIBRA (1991) o considerava um processo bastante rudimentar, utilizado em função da topografia e por não existir outro método economicamente viável em suas condições florestais.



Figura 6. “Tombo” manual.

Este sistema tende a desaparecer pela introdução da mecanização e utilização da força animal, além de se constituir em um trabalho extremamente desgastante para o homem.

3.2. Transporte primário animal

Em função do baixo custo o transporte de madeira com animais ainda é utilizado em algumas regiões, principalmente em locais acidentados onde não há condições de se mecanizar a operação.

O menor custo operacional é conseqüência do baixo investimento inicial necessário, da pequena depreciação do capital investido e da utilização de mão-de-obra pouco especializada (TANAKA, 1987). Além do baixo custo, outras das suas vantagens são quanto à técnica simples de aplicação, a tradição do uso de animais em algumas regiões do Brasil, como no Estado de Minas Gerais, e o trabalho nas mais diversas condições de campo.

O peso do animal é o principal fator para a determinação de sua capacidade de carga, sendo que quanto mais pesado o animal maior será sua capacidade. O arraste com muar deve ser feito a uma distância máxima de 140 m com limitação de 30% de declive e 15 a 17% de aclave. A velocidade de trabalho varia de 2,5 a 4,0 km/h, dependendo da topografia, tipo de solo e da intensidade do sub-bosque (FAO, 1974; TANAKA, 1987).

Considerando-se uma equipe composta por 1 feitor, 20 tropeiros e 30 muares, apresentou-se uma produção diária em torno de 133 m³, a uma distância de transporte de 100 metros, proporcionando um rendimento operacional de 6,65 m³/homem.dia (TANAKA, 1987). A Figura 7 ilustra a opção de um trenó para facilitar o arraste da madeira, com capacidade de 1,5 st de madeira.



Figura 7. Treno para transporte de toretes com capacidade de 1,5 st.

Existem também as opções de transporte com bovinos e equinos, com os rendimentos e dimensões de implementos sendo bem detalhados por Tanaka (1987). Quanto ao carregamento no dorso de animais, a capacidade de transporte de cargas varia de acordo com os valores da Tabela 2.

Tabela 2. Capacidade de carga em peso vivo para diferentes espécies de animais.

Espécie	Capacidade de carga em peso vivo (%)	Distância percorrida (km/dia)
Equinos	45-50	25-30
Muare	55-60	30-35
Asininos	60-65	35-40

No transporte com muare a madeira é colocada sobre cangalhas (Figura 8), sugerindo-se que o comprimento dos toretes não exceda a 1,5 m. A capacidade média de carga é de 0,6 st/viagem e um rendimento médio aceitável em topografia ao redor de 60% é de 7 a 8 st/dia (Seixas, 1987).



Figura 8. Muar com cangalha.

3.3. Extração mecanizada com skidder

Sistemas de toras longas são definidos pelo corte e transporte da árvore desgalhada, para posterior processamento à margem do carreador, em um pátio intermediário ou na indústria. Os equipamentos típicos empregados constituem-se de um “feller-buncher” para cortar as árvores e um “skidder” para realizar a extração das toras. O skidder é um trator comumente empregado em florestas tropicais, devido ao elevado peso das toras, e tradicional nas florestas da América do Norte.

O skidder, desenvolvido durante a década de 60, é um veículo versátil e forte, fácil de operar e econômico. Sua robustez e facilidade de manutenção são algumas das outras razões de sua popularidade na América do Norte. Além disso, os skidders podem trabalhar com uma larga margem de tamanhos de árvores. O sistema “feller-buncher + skidder” tem sido otimizado para produção em sistemas de corte raso em larga escala.

A capacidade de carga de um skidder é função de uma série de variáveis, tais como: resistência ao rolamento, coeficiente de tração e o atrito ocorrido onde a carga se apóia no solo. Todas as variáveis se alteram com mudanças que ocorram no teor de umidade do solo e sua textura. Além desses aspectos, Machado (1984) destaca os seguintes itens para se obter a máxima eficiência:

- a) a declividade do terreno deve estar entre 30% no sentido favorável e 10% no sentido adverso.
- b) O trator florestal deve ser compatível com a carga que será arrastada.
- c) A performance do operador é fundamental, pois pode influenciar em até 40% o rendimento.
- d) O pneu deve estar com pressão compatível com as condições e tipo de solo.

A distância de extração também condiciona o custo da operação, sendo maior na redução da construção da malha viária em terrenos inclinados. A relação entre os custos de construção de estradas e as distâncias de extração é muito importante, minimizando-se o valor total quando os custos de extração forem próximos aos dos de construção de estradas. Para tratores de esteira, um valor médio econômico está entre 120 e 180 m de distância, enquanto para os de pneus, pode-se alcançar até 400 m economicamente (Conway, 1976).

3.3.1. Tipos de skidders

Com relação ao tipo de rodado os “skidders” podem ser equipados com esteiras rígidas, flexíveis ou com pneus. As esteiras rígidas são projetadas para prevenir a flexão e assegurar uma pressão uniforme sobre um terreno plano (Figura 9). As esteiras flexíveis usam um sistema de suspensão com rodas em “bogey” independentes que possibilitam à esteira flexionar-se adaptando-se à superfície e obstáculos do terreno (Figura 10). De maneira geral, veículos com esteiras rígidas são usados em baixa velocidade, para aplicações que exigem muita potência para empurrar ou puxar uma carga. Veículos de esteiras flexíveis são utilizados quando é desejada uma maior velocidade e a habilidade de empurrar ou puxar cargas mais pesadas seja menos importante.



Figura 9. Skidder Caterpillar 527 equipado com esteiras rígidas



Figura 10. Skidder FMC equipado com esteiras flexíveis (Foto: J.M. Gruber)

A pressão nominal sobre o terreno (peso total dividido pela área de contato da esteira) é usualmente de 0,27 a 0,42 kgf/cm², dependendo do peso e projeto dos skidders de esteiras flexíveis. Para esteiras rígidas a variação vai de 0,42 a 0,70 kgf/cm². Em um terreno de superfície mais acidentada, o skidder com esteira flexível pode apresentar uma pressão sobre o solo mais uniforme do que um equipamento com esteira convencional.

Os fatores que afetam a produção de um skidder de esteiras incluem o tipo de solo, terreno, clima, sub-bosque, densidade do talhão, tamanho das peças, “layout” da área de colheita, cronograma das operações de corte, reparos, manutenção e administração da equipe. Para maiores produtividades, a toras devem ser arrastadas morro abaixo. As operações de corte devem ser planejadas de acordo com o esquema posterior de retirada da madeira e sempre devem disponibilizar estoques, evitando-se paradas dos skidders (Wenger, 1984).

Os “skidders” de pneus podem ser não-articulados, geralmente um trator agrícola adaptado de baixo investimento e múltiplos usos, e articulados. Um “skidder” articulado possui uma “dobradiça” central sendo dirigido pela mudança de ângulos entre as seções frontal e traseira (Figura 11). Esse tipo de “skidder” é mais estável e manobrável do que os “skidders” sem articulação de mesma dimensão, adaptando-se prontamente a terrenos acidentados. A sua distribuição de peso permite-lhe movimentar cargas maiores do que os tratores não-articulados e a velocidades maiores do que os “skidders” de esteiras, tornando-o apto a operar em distâncias maiores.

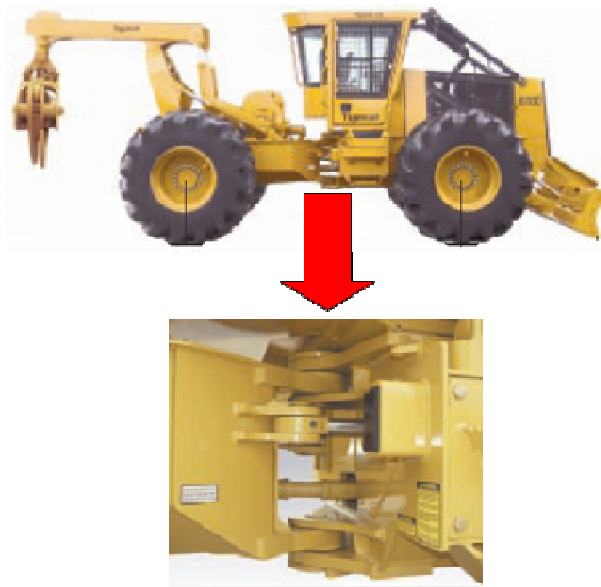


Figura 11. Articulação central em um skidder Tigercat 610C.

Skidder com cabo (“Cable”)

Geralmente são tratores com pneus, articulados, com um sistema de guincho na parte traseira e tração nas 4 rodas (Figura 12). O trator se posiciona próximo às toras e o cabo principal é esticado até às mesmas. Os estropos (cabos auxiliares) as enlaçam pelo lado de maior diâmetro e são engatados ao cabo principal, sendo então realizado o guinchamento até o trator, elevando-se logo após uma das extremidades. O arraste de troncos pela extremidade de maior diâmetro faz com que haja transferência de 60 a 70% do peso total da carga para a máquina, o que aumenta a aderência do trator e diminui o atrito da(s) tora(s) com a superfície do solo. Pela extremidade de menor diâmetro essa transferência é de 30 a 40% do peso total.

Completado o guinchamento o trator inicia a viagem até a estrada ou pátio, onde as toras são desengatadas e empilhadas com o auxílio da lâmina frontal. Esse equipamento é indicado para extração de toras dispersas pelo local de exploração, além de trabalhar em terrenos um pouco acidentados, não sendo necessário que a máquina chegue até a carga.



Figura 12. Skidder com guincho Tigercat 604C.

Skidder” com garra (“Grapple”)

Substitui-se no trator anterior o guincho por uma garra hidráulica, de abertura inferior, que realiza o carregamento (Figura 13). Este trator é indicado para o trabalho em locais onde as toras foram previamente empilhadas, tornando-se indispensável quando o corte é realizado com um trator florestal cortador-acumulador (feller-buncher), pois poderá, em condições favoráveis, produzir até 300% a mais do que o trator arrastador com cabo (Machado, 1984). Devido à habilidade de manuseio rápido de feixes de toras, skidders com garra são capazes de manter uma produtividade elevada mesmo com a diminuição do tamanho das toras.



Figura 13. Skidder com garra.

Skidder com pinças invertidas ou de mandíbulas (“Clam bunk”)

O sistema de garra hidráulica de abertura inferior do trator anterior é substituído por uma garra de abertura superior (ou invertida), com a finalidade única de prender as toras ali colocadas, e por um braço hidráulico munido de uma grua que o torna auto-carregável (Figura14). São conceitualmente semelhantes aos forwarders, exceto que arrastam a carga, sendo menos sensíveis do que os forwarders aos solos de menor produtividade. Possui elevada capacidade de carga e é muito versátil, podendo extrair toras dispersas ou não (Machado, 1984), além de apresentar uma distância econômica de arraste superior ao skidder de garra.



Figura 14. “Clam bunk” skidder modelo Timberjack 1710

O ciclo de produção de um skidder de pneus pode ser dividido em componentes fixo e variável por unidade de volume. O componente fixo consiste do tempo necessário para adquirir e desfazer-se de uma carga, ao passo que o componente variável diz respeito ao deslocamento da máquina. Em distâncias curtas, o componente de tempo fixo torna-se mais importante. Algumas medidas para se diminuir o componente de tempo fixo são:

- No caso do skidder de cabo, usar estropos auxiliares para enganchar as toras previamente (Figura 15).

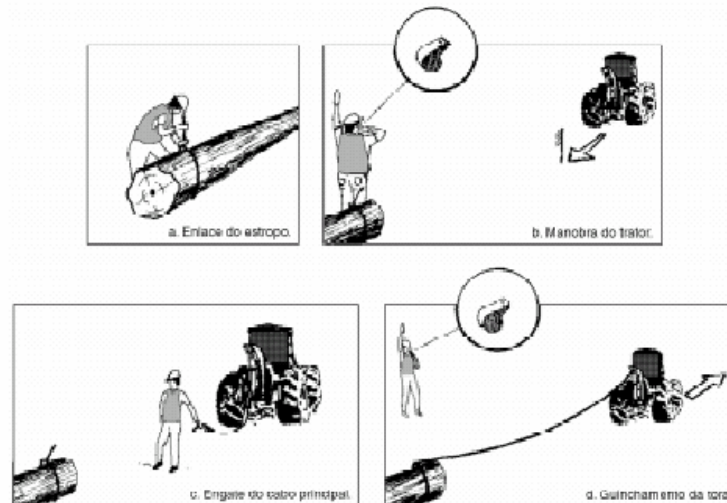


Figura 15. Sequência do arraste de toras (AMARAL et al., 1998)

- Orientar a base das árvores na direção de retirada.
- Alinhar as bases das árvores na operação de corte.



- Organizar as áreas de estoque de madeira para facilitar o rápido deslocamento do trator.
- Montar feixes de árvores tão grandes quanto práticos, para reduzir o número de movimentos necessários para se completar uma carga do skidder com garra.

As estratégias para se reduzir o componente variável são:

- Definir uma rede de carregadores onde não haja coincidência entre a ida e o retorno dos skidders, evitando-se problemas de tráfego.
- Orientar a base das árvores na direção de retirada para diminuir a resistência ao arraste.
- Planejar a operação evitando-se voltas e obstáculos na trilha de arraste.
- Colocar o pátio de maneira que a viagem com carga seja no sentido do declive.
- Carregar o skidder na sua capacidade máxima.

3.3.2. Movimentação do trator florestal arrastador (Skidder)

O desempenho de um trator é representado pela sua capacidade de movimentar uma determinada carga. Para que haja movimento é necessário que a força do motor seja transmitida às rodas e destas para o solo. Essa força transmitida ao solo proporcionará movimento se for superior às forças contrárias, tais como: a resistência ao rolamento, a resistência de arove e a resistência representada pela carga a ser deslocada (apoiada ou não sobre o solo).

Força na roda (Fr): para se calcular a força na roda deve-se dividir o torque na roda (**Tr**) pelo raio dinâmico do pneu motriz (**rd**). O torque na roda será resultante do produto do torque produzido no motor pelas relações de transmissão e respectivo rendimento, por volta de 0,90.

$$Fr = Tr / rd$$

Força de aderência (Fad): uma reação tangencial surge como resposta à ação tangencial da roda sobre o terreno. Se o valor da reação tangencial é superior à resistência ao esforço de cisalhamento do terreno, a roda patina, produzindo um deslocamento das diversas camadas de solo atrás. Se o valor da reação tangencial for inferior à resistência ao esforço de cisalhamento do terreno, o solo somente se deformará, ocorrendo um deslocamento do centro instantâneo de rotação da roda e uma perda de velocidade, mas com um avanço do trator (PEÑA et al., 1993).

A resistência ao esforço de cisalhamento do terreno denomina-se “aderência” e pode ser aproximadamente estimada pela expressão definida por Coulomb:



$$F_a = S \cdot c + P \cdot \operatorname{tg} \emptyset$$

onde:

F_a = Força de aderência

S = superfície de contato da roda com o solo.

c = coesão do solo.

P = peso incidente no eixo de tração.

\emptyset = ângulo interno de rolamento do solo.

Tabela 3. Valores de coesão e ângulo interno de rolamento para diferentes classes de solo.

Tipo de solo	Umidade (%)	Coesão (kN/m)	tg \emptyset
Franco-arenoso	13 a 15	0	0.61 a 0.65
Franco-arenoso	22 a 25	5 a 24	0.15 a 0.43
Franco	20 a 22	0 a 5	0.67 a 0.73
Franco areno-argiloso	11 a 12	6 a 18	0.24 a 0.38
Franco areno-argiloso	17 a 21	34 a 39	0.09 a 0.31
Franco argiloso	37 a 40	26 a 32	0.23 a 0.38
Argiloso	24 a 27	30 a 34	0.13 a 0.29
Argiloso	43 a 45	25	0.24 a 0.31

Fonte: Linares, P. & Jevenois, J. *Introducción al sistema terreno vehículo* (apud PEÑA et al., 1993).

De acordo com a tabela, em termos gerais, os solos arenosos não têm coesão, porém apresentam um grande ângulo interno de rolamento, sendo conveniente que nesse tipo de solo se utilizem veículos com um rodado que exerça elevada pressão sobre o solo. Ao contrário, a coesão é grande em solos argilosos e o ângulo interno de rolamento pequeno, recomendando-se o uso de veículos com rodado de maior superfície de contato com o solo. Na prática, usa-se um coeficiente de aderência (ou coeficiente de atrito pneu x solo) " μ " (Tabela 4), cujo valor depende do tipo de solo e do rodado do trator, definindo-se a força de aderência por:

$$F_a = P \times \mu$$

onde:

P = peso incidente no eixo de tração (t).

μ = coeficiente de aderência (kg/t)



Tabela 4. Alguns coeficientes de aderência (μ) em kg/t para pneus e utilizando-se correntes.

Tipo de Solo	Estado	Coef. de aderência (kg/t)	
		Pneus	Corrente
Argiloso	Seco	550	580
Argiloso	Úmido	450	460
Argilo-arenoso	Seco	350	560
Argilo-arenoso	Úmido	200	420
Areia	Seco	350	320

Resistência ao rolamento (R_r): o trator transmite uma pressão sobre o terreno que causa a deformação deste, aumentando a superfície de contato entre a roda e o terreno (Figura 16). este aumento da superfície de contato faz com que o centro de gravidade da aplicação da reação se desloque na direção do “avanço” do trator, ocasionando um momento denominado “Resistência ao rolamento” que se opõe a esse “avanço”.

Fisicamente, esse momento que se opõe ao movimento justifica-se pelo esforço suplementar que a roda deve exercer para superar a ondulação que vai se formando na sua frente, assim como devido à ação de outros efeitos, tais como a energia que deve inverter para deformar a própria roda ou a força que deve exercer na adesão roda-terreno (importante em solos mais aderentes) (PEÑA et al., 1993). Na prática calcula-se uma força devido à resistência ao rolamento (F_o) que depende do peso total do veículo (G) em toneladas e de um coeficiente de resistência ao rolamento (R_r) (Tabela 5), que é dado em kgf de resistência por tonelada de peso do veículo, em função do tipo de solo:

$$F_o = R_r \cdot G$$

Tabela 5. Coeficientes de resistência ao rolamento (R_r) em kgf/t para pneus.

Tipo de Solo	Estado	R_r (kgf/t)
Argiloso	Seco ou úmido	100
Argiloso	Encharcado	131
Areno-argiloso	Seco ou úmido	110
Areno-argiloso	Encharcado	140
Arenoso	Seco	127
Arenoso	Úmido	123

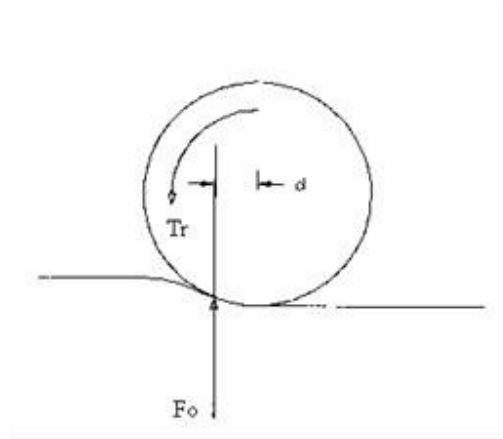


Figura 16. Força de resistência ao rolamento (F_0).

Resistência de aclave (F_i): quando um veículo está subindo uma rampa, parte de seu peso transforma-se em força que se opõe ao movimento. Esta força, chamada de força de aclave, é calculada através da seguinte expressão:

$$F_i = G \cdot i$$

onde:

G = peso total do veículo em toneladas

i = aclave em decimal

Resultante de carga (R_c): é a força necessária para arrastar ou rebocar uma carga. A componente tangencial da resultante de carga pode ser estimada das seguintes formas, de acordo com a maneira em que o trator florestal transporte a carga:

a) Caso de transporte de toras totalmente arrastadas:

$$R_c = C (R_{rt} \pm 1000 \cdot i)$$

onde:

R_{rt} = resistência ao rolamento da tora totalmente arrastada no solo (Tabela 6).

C = peso da tora em toneladas.

i = aclave em decimal.

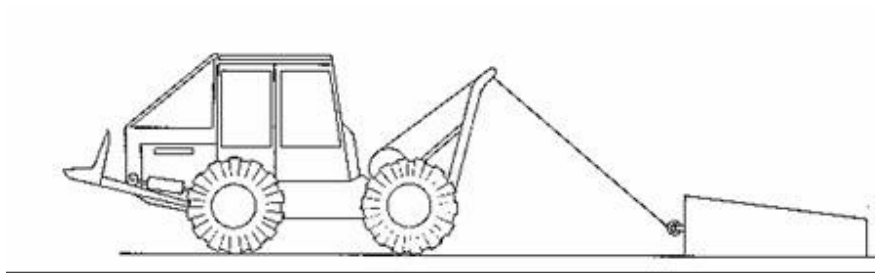


Figura 17. Resultante de carga com tora totalmente arrastada (PEÑA et al., 1993).

Tabela 6. Coeficientes de resistência ao rolamento de tora totalmente arrastada em função de diferentes tipos de solo (PEÑA et al., 1993).

Tipo de Solo	Estado	<u>R_r (kgf/t)</u>				
		<u>Diâmetro das toras (cm)</u>				
		30	33	36	40	50
Argiloso	Seco ou úmido	800	790	780	770	730
Argiloso	Encharcado	640	640	620	590	540
Areno-argiloso	Seco ou úmido	830	820	820	800	700
Areno-argiloso	Encharcado	660	650	640	620	560
Arenoso	Seco	700	680	670	660	620
Arenoso	Úmido	720	710	700	680	650

b) Caso de transporte de toras semi-suspensas: supondo que a metade do peso da tora repousa sobre o trator (Figura 18), a componente tangencial da resultante de carga será:

$$R_c = C \cdot (R_{rt} \pm 1000.i) / 2$$

Sendo:

R_{rt} = coeficiente de rolamento da tora semi-suspensa com o solo (Tabela 7).

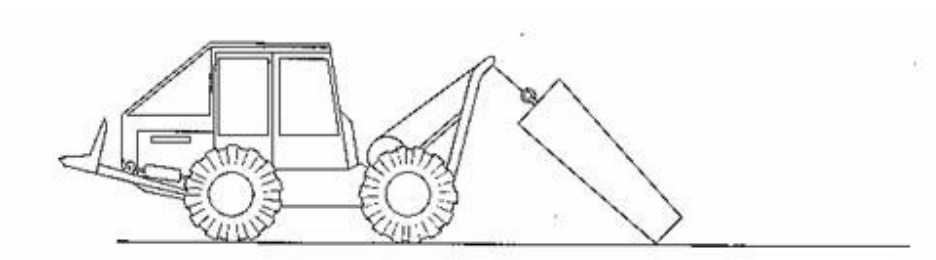


Figura 18. Resultante de carga com a tora semi-suspensa (PEÑA et al., 1993).

No caso de se reduzir a superfície de apoio da tora e, por consequência, reduzir a força de rolamento, é interessante que o ângulo que se forma entre a tora e o solo seja o maior possível.

Tabela 7. Coeficientes de resistência ao rolamento de tora semi-suspensa em função de diferentes tipos de solo (PEÑA et al., 1993).

Tipo de Solo	Estado	<u>R_r (kgf/t)</u>				
		<u>Diâmetro das toras (cm)</u>				
		30	33	36	40	50
Argiloso	Seco ou úmido	650	630	620	610	530
Argiloso	Encharcado	500	500	480	470	440
Areno-argiloso	Seco ou úmido	660	650	640	620	610
Areno-argiloso	Encharcado	540	530	520	480	460
Arenoso	Seco	550	540	530	520	480
Arenoso	Úmido	570	560	550	540	520

c) Para o caso em que a carga seja transportada em reboque (Figura 19), o valor da resultante de carga será:

$$R_c = C_r \cdot (R_r \pm 1000.i)$$

Sendo:

C_r = peso das toras e reboque.

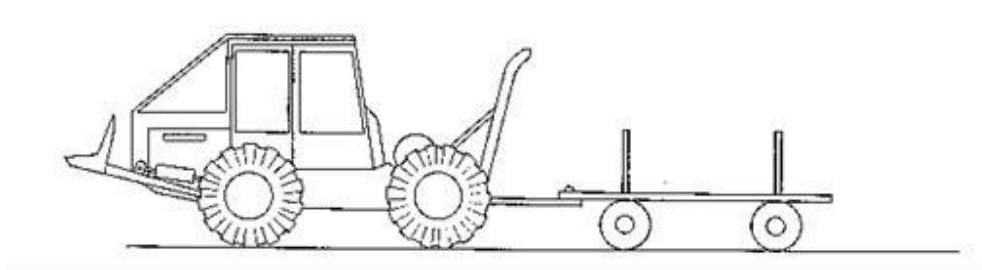


Figura 19. Resultante de carga com reboque (PEÑA et al., 1993).

d) Por último, no caso da carga ser auto-transportada pelo trator, considera-se somente um incremento no peso do trator.

Equações de equilíbrio - para que haja movimento, devem ser observadas as seguintes relações:

- a) Que exista força suficiente: $F_r = \geq G \cdot (R_r \pm 1000 \cdot i) + R_c \cdot \cos\beta$
- b) Que exista aderência: $F_a \geq F_r$

3.4. Trator florestal auto-carregável (Forwarder)

Originalmente fabricados no Canadá e aprimorados na Escandinávia, os tratores florestais auto-carregáveis são, em sua maioria, máquinas articuladas com suspensão da plataforma embaixo do chassi traseiro e capacidade de carga variando de 5000 a 20000 kg. O Brasil também conta com empresas fabricantes desse tipo de veículo, sendo um dos primeiros modelos construídos pela Engesa, antiga indústria de equipamentos militares (Figura 20). A razão entre o peso movimentado e a potência do veículo oscila entre 140 e 280 kg/hp, com a maioria situando-se na faixa de 160 a 180 kg/hp. A velocidade não é uma característica essencial desse tipo de trator, com a maior parte do tempo operacional sendo gasto com carga e descarga, destacando-se muito mais em função da capacidade de superar as condições adversas encontradas no campo.

Essas máquinas possuem uma caixa de carga e um carregador hidráulico, que pode ser montado tanto sobre o chassi de carga como no dianteiro. O carregador conta com uma capacidade de carga variando de 300 a 1800 kg por ciclo e alcance de 3 a 12 metros. Podem trabalhar em terrenos acidentados até uma inclinação máxima ao redor de 30%, ou de 60% desde que se movimente no sentido do declive. Trata-se de um equipamento com custo de aquisição elevado, que exige florestas de boa produtividade e operador qualificado, com as distâncias médias de transporte situando-se entre 200 e 300 metros e rendimentos operacionais ao redor de 30 m³/hora (SEIXAS, 1987; SOUZA et al., 1988).



Figura 20. Trator florestal auto-carregável EE-510.

3.4.1. Carregador hidráulico (Grua)

A **grua** é formada por um suporte rígido, o qual une ao chassi do trator uma base giratória, dois braços articulados (podendo o segundo ser telescópico) e uma garra, que se une ao segundo braço por meio de um rotator (Figura 21). O movimento se obtém graças ao sistema de rotação da base, das duas articulações, ao alargamento do segundo braço e ao rotator. Todos esses elementos se movem por acionamento hidráulico, através de uma linha de pressão que alimenta uma bomba conectada com os elementos de transmissão do trator e que reparte o fluido mediante um distribuidor hidráulico.

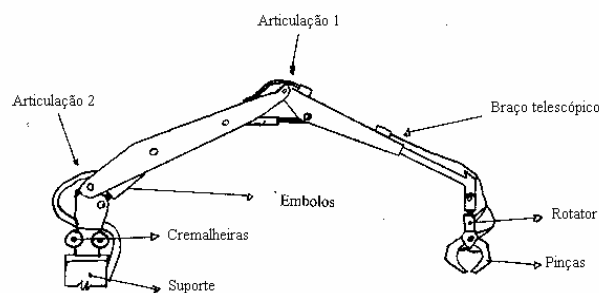


Figura 21. Elementos da grua hidráulica (PEÑA et al., 1993).

A **base giratória** deve ter uma ligeira inclinação com relação ao eixo vertical, para compensar parte do momento criado pela carga e, portanto, diminuir os esforços sobre o suporte da grua. Ela move-se, geralmente, por um pião central rotacionado pelo deslocamento tangencial de duas cremalheiras acionadas por cilindros hidráulicos (Figura 22). São possíveis giros completos e inclusive acima de 360 graus.

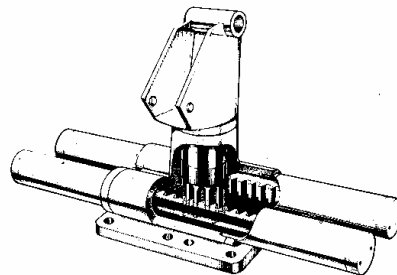


Figura 22. Base rotativa de cremalheiras (PEÑA et al., 1993).

Os **braços** são elementos robustos, para resistir aos momentos elevados a que estão submetidos, e estão unidos entre si por meio de articulações. A ação de êmbolos hidráulicos proporciona o movimento. O segundo braço é telescópico, com a sua primeira extremidade fixa no braço anterior (Figura 23), mais usual, ou deslizante, como no caso das guas de arraste ou de largo alcance (Figura 24).

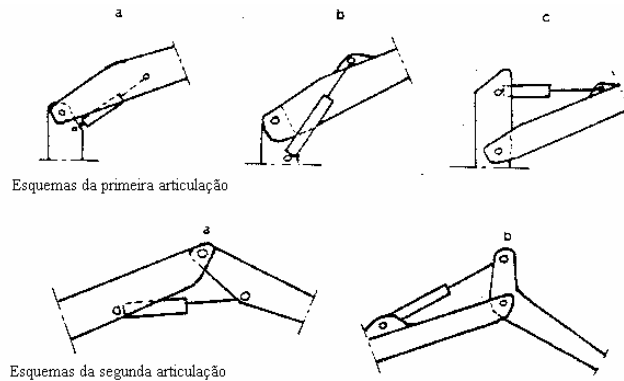


Figura 23. Sistemas de disposição das articulações (PEÑA et al., 1993).

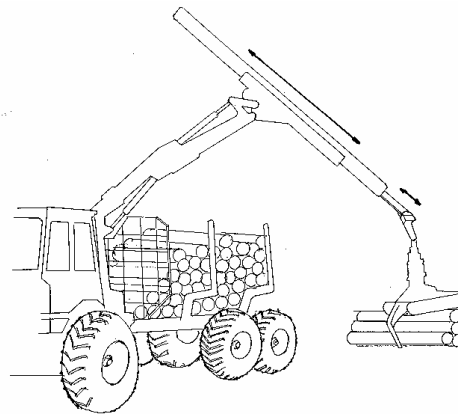


Figura 24. Braço telescópico do tipo de arraste (PEÑA et al., 1993).

A garra recolhe e aprisiona a madeira graças às pinças que são movidas pela ação de êmbolos (Figura 25). Por meio de um rotator, essas pinças giram sobre o seu eixo até 360 graus, favorecendo a operação de recolhimento da madeira.

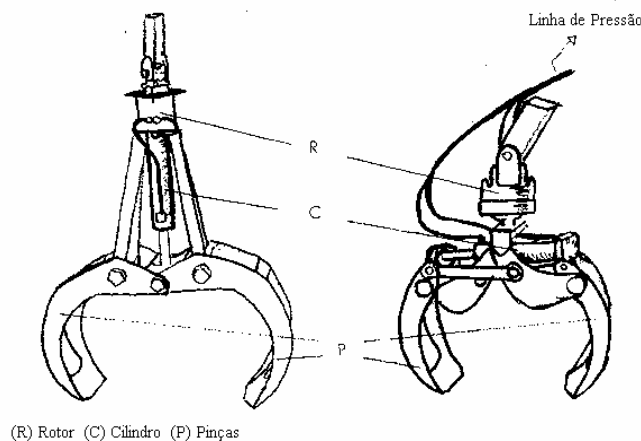


Figura 25. Tipos de garras (PEÑA et al., 1993).



A grua deve realizar as operações de carga e descarga o mais rápido possível, dependendo da capacidade de carga da garra e da rapidez de ação de cada um dos elementos da grua. Para se escolher a secção de abertura da garra deve-se ter em conta o peso da madeira. Se a madeira tem uma densidade baixa e comprimento pequeno, pode-se optar por garras de maior abertura (movem muito volume e pouco peso). Se a madeira for densa e de maior comprimento, devem-se considerar as garras de secção menor (PEÑA et al., 1993).

A rapidez de movimento da grua depende da velocidade de movimento dos seus elementos e do desenho dos braços e articulações. Se a grua está dimensionada para um maior alcance, a duração da fase de carregamento será maior, por serem maiores as distâncias a ser percorridas. Deve-se optar sempre por guas que tenham um alcance adequado de acordo com a disposição espacial da madeira sobre o terreno. A maior rapidez da grua irá exigir maior potência e menor capacidade de carga.

Tabela 8. Distribuição de tempos empregados em cada uma das operações básicas de um “forwarder” (PEÑA et al., 1993).

Operação	Tempo (%)
Deslocamento	5 - 8%
Parada	6 - 10%
Carga	50 - 60%
Descarga	28 - 34%

O tempo de paradas depende do número de “estacionadas” para se completar uma carga do trator e do tempo consumido para realizar cada estacionada. O número de “estacionadas” depende, por sua vez, do alcance da grua, diminuindo-se ao se aumentar esse alcance (Tabela 9). Contudo, o aumento do alcance da grua diminui a velocidade do ciclo de carga/descarga e, mais importante, mantendo-se a potência do trator, resulta na diminuição da capacidade de carga com o alcance (Figura 26).

Tabela 9. Relação entre alcance da grua e número de “estacionadas” (PEÑA et al., 1993).

Alcance (m)	5	6	7	8	9	10	11	12
No. de “estacionadas”	125	92	70	56	45	38	32	27

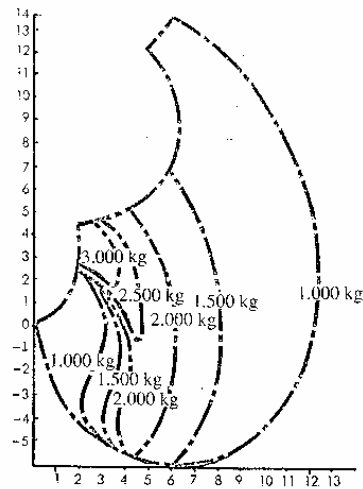


Figura 26. Diagrama carga-distância de uma grua de 12 toneladas (PEÑA et al., 1993).

Outro fator que influi na operacionalidade do trator é o peso da própria grua, pois a medida que este aumenta, diminui a capacidade de tração do trator, além de subir o seu centro de gravidade, aumentando-se a instabilidade. Esta característica, aliada à própria robustez que deve ter a grua, obriga a projetá-la com base em materiais especialmente resistentes e leves.

3.4.2. Cálculo do rendimento operacional

A produção de um “forwarder” pode ser estimada da seguinte maneira:

$$\text{Produção horária} = \frac{E \times A \times L \times 60}{C}$$

onde:

C = tempo de ciclo (min);

L = tamanho da carga (m³);

A = disponibilidade mecânica;

E = ajuste de eficiência do sistema.

O tempo de ciclo C será a soma do tempo de carga (TL); do tempo de viagem ida e volta até o estaleiro (TS); do tempo de deslocamento durante o carregamento (TT); e o tempo de descarregamento (TU).

$$C = TL + TS + TT + TU$$



O tempo de carga (**TL**) é encontrado multiplicando-se o número de ciclos da garra necessários para completar a caixa de carga do forwarder pelo tempo médio por ciclo, assumido aqui como sendo 0,5 minuto. O tempo de carregamento é afetado pelo tamanho do feixe, tamanho da tora e capacidade da garra.

$$\mathbf{TL} = \frac{0,5 \cdot L}{v \cdot n}$$

onde:

v = tamanho da tora (m³) e

n = toras por carga da garra.

O tempo de viagem de ida e volta até o estaleiro é:

$$\mathbf{TS} = \frac{2D}{S}$$

onde:

D = distância média de transporte (m) e

S = velocidade média (m/min).

A velocidade média varia entre 25-64 m / min, dependendo dos acidentes do terreno, obstáculos, declividade, potência do motor e experiência do operador. O tempo de viagem durante o carregamento (TT) depende do tamanho do feixe e espaçamento, que por sua vez depende da intensidade de remoção do talhão e tamanho das toras. A velocidade média dentro do talhão deve ser menor do que durante uma viagem normal.

$$\mathbf{TT} = \frac{10000L}{V \times R \times S}$$

onde:

V = volume de madeira removido (m³ / ha); e

R = largura da faixa de tráfego (m).

O tempo de descarregamento é estimado como sendo:

$$\mathbf{TU} = \frac{0,5 \cdot L}{v \cdot n}$$

O número de toras por carga da garra n é sempre menor para carga do que para descarregamento, especialmente se o tamanho do feixe para carga é pequeno. Os ajustes de disponibilidade e eficiência são frações entre 0 e 1. A disponibilidade mecânica média para forwarders normalmente varia de 0,7 a 0,85.

O ajuste de eficiência **E** comumente varia de 0,5 a 0,8, dependendo da organização e administração da operação, clima, pessoal, resistência do solo, tamanho da tora, densidade do talhão e acidentes do terreno (WENGER, 1984).

3.4.3. Sistema acessório de suspensão de carga em forwarder

Para a maior parte dos veículos, a capacidade de transporte é determinada pelo tamanho da carga e velocidade de cruzeiro. No transporte com forwarders, essas limitações podem ser reduzidas pelo ajuste da largura da caixa de carga, uso de sensores de peso para a carga e sistema de amortecimento na caixa de carga. Estas melhorias são a base do acessório denominado ALS (“Active Load Space”) disponível através de diversos fabricantes de forwarders (Figura 27). Atualmente, as caixas de carga dos forwarders são projetadas para toras com peso elevado. Conseqüentemente, quando sortimentos mais leves são extraídos, a capacidade da máquina não é utilizada em sua totalidade. O sistema ALS adapta a configuração do espaço de carga ao peso da madeira, fazendo com que o forwarder opere sempre com carga máxima.

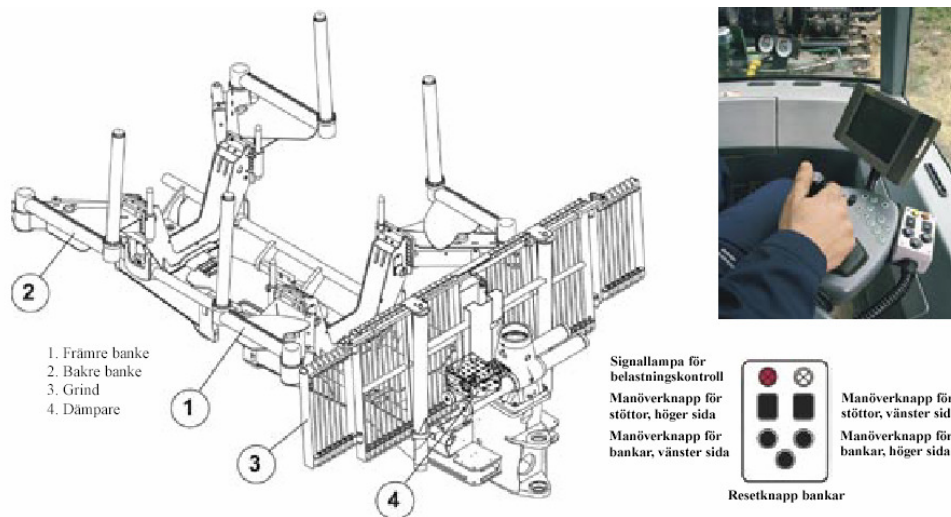


Figura 27. Esquema do sistema ALS.

O sistema consiste na montagem dos fueiros em cilindros hidráulicos com altura ajustável e amortecimento. O peso total da carga é registrado através de pressão hidráulica e um aviso de advertência alerta o operador quando ocorre excesso de carga. A estrutura de carga pode ser ampliada em 65 cm de cada lado, ampliando a largura em até 130 cm (Figuras 28 e 29). Estudo feito pela Skogforsk (Suécia) concluiu que a maximização da capacidade de carga reduziu os custos de extração entre 3 e 13 centavos de dólar por metro cúbico sólido.

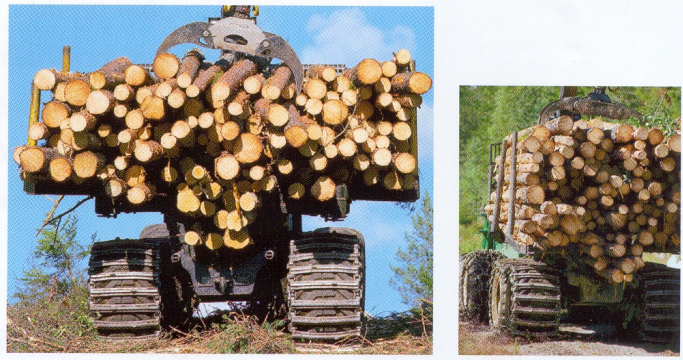


Figura 28. Ilustração da ampliação da largura da caixa de carga do “forwarder”.

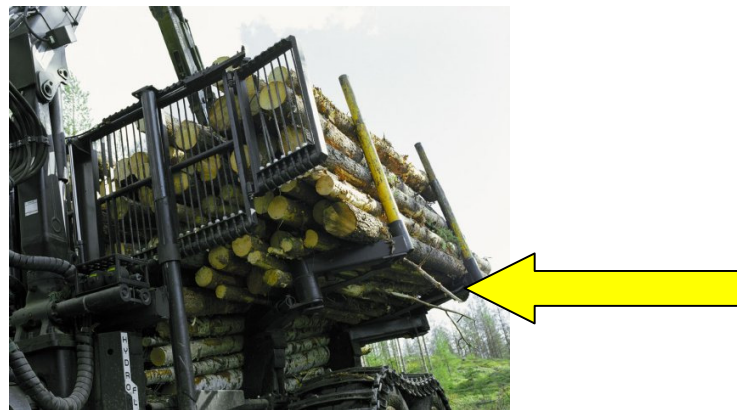


Figura 29. Detalhe da movimentação dos fieuros, ampliando a largura da caixa de carga do forwarder Timberjack 1410D com ALS (“Active Load Space”).

Estudo feito com esse equipamento mostrou que o aumento médio no tamanho da carga (t) foi de 7% para toras e 23% com madeira para celulose. A velocidade média do transporte com carga aumentou entre 5 e 10%, dependendo do tipo do terreno, assim como a estabilidade do forwarder pela diminuição da altura do centro de gravidade (Figura 30).



Figura 30. Expansão da largura da caixa de carga do forwarder Timberjack 1410D, com conseqüente aumento da estabilidade da máquina.



3.5. Considerações gerais sobre tratores florestais

A produtividade de skidders com pneus tem sido bastante estudada. Por exemplo, Koger (1976) determinou os efeitos de diversas variáveis na capacidade de arraste de um skidder de pneus com tração nas quatro rodas, e também desenvolveu equações para determinar custos e o equilíbrio ideal entre distância de arraste e construção de estradas. Rummer (1988) estudou um skidder de garra John Deere 648 e chegou a uma produção de madeira de 59,6 m³/h com uma distância média de 110 m (volume por árvore = 1,0 m³). Tufts et al. (1988) desenvolveram equações para predizerem os tempos de atividades parciais e ciclo total a partir de dados coletados de 12 modelos diferentes de skidders de pneus com garra transportando pinheiros. Em um outro projeto comparativo entre sistemas de toras longas e toras curtas em florestas de coníferas sob corte raso, Andersson (1994) concluiu que o sistema de colheita de toras longas atingiu uma média de 137 m³/homem.dia, operando em um talhão com volume médio por árvore de 0,52 m³ e produção de 428 m³/ha. O sistema de toras curtas atingiu 40,6 m³/homem.dia em um talhão com 0,22 m³/árvore e 234 m³/ha.

Apesar de economicamente vantajoso, existem certas limitações quanto ao uso de skidders. Usar essas máquinas em desbastes pode resultar em danos consideráveis às árvores remanescentes e raízes, somando-se a compactação do solo, sulcamento e realocação de nutrientes no solo. Os feller-bunchers suportam todo o peso da árvore na cabeça de corte durante a operação, criando assim problemas de compactação do solo ao longo da trilha. Skidders podem produzir danos às árvores remanescentes devido o arraste de outras árvores através do talhão. E, em virtude de que nesses sistemas dificilmente as árvores são processadas no local de abate, é comum a concentração de nutrientes à margem das estradas ou em pátios intermediários (McNeel & Ballard, 1992). Stokes (1993) discute o uso de skidders equipados com pneus mais largos ou duplos, o que promove uma melhor flutuação em locais com maior presença de umidade, mas que ainda assim podem ocasionar altos níveis de distúrbios no solo.

Lanford e Stokes (1995) realizaram um estudo comparativo entre um sistema composto de feller-buncher, skidder de garra e um carregador/seccionador (toragem) e outro de harvester e forwarder. No primeiro desbaste comercial conduzido em um talhão de *Pinus taeda* com 18 anos de idade, o sistema com skidder produziu cicatrizes em 62 árvores por hectare contra 25 do sistema com forwarder. O sistema com skidder também apresentou praticamente o dobro de distúrbio do solo (65 contra 34%) e produziu mais compactação do que o sistema com forwarder.

Sistemas de toras curtas, ou “corte por comprimento” (“cut-to-length”), podem oferecer um melhor desempenho e viabilidade econômica na implementação de regimes de desbaste seletivo. Nos sistemas de toras curtas as árvores são cortadas manualmente ou por meio de uma colhedora ou processador. Tratores florestais auto-carregáveis (forwarders) são usados para o transporte primário.



Devido a madeira ser processada próxima ao toco, galhos e folhas são deixados espalhados sobre o solo aumentando a ciclagem dos nutrientes e a produtividade do sítio a longo termo. O carregamento do material processado confinado na caixa de carga do forwarder reduz sulcamento, distúrbio do solo e danos às árvores residuais. A redução no sulcamento possibilita ao forwarder estender o período de trabalho para épocas em que a condição de umidade do solo não permita o tráfego de skidders. Desde que a capacidade de carga do forwarder é tipicamente maior do que a do skidder, a distância econômica de transporte pode ser aumentada.

Alguns cálculos feitos por Wästerlund (1992) indicaram que o skidder tem que produzir forças de tração muito maiores do que o forwarder. Consequentemente, podem ser esperados maiores danos ao solo. Wronski (1984) encontrou o mesmo nível de danos ao solo causado pelo tráfego de um skidder de 9 toneladas (incluindo a carga) comparado com os efeitos de um forwarder de 28 toneladas, embora as pressões estimadas de contato no solo fossem de 80 e 200 kPa respectivamente.

De maneira geral, o forwarder vem se tornando um método mais comum de transporte de madeira e pode-se prever um aumento da sua utilização em conjunto com harvesters. Resumidamente, as suas vantagens, quando comparado com skidders, são:

- menor transporte de areias e resíduos, reduzindo problemas nas serrarias e fábricas de celulose;
- redução dos danos ao povoamento remanescente;
- os resíduos da colheita podem ser deixados sobre a trilha, reduzindo os danos às raízes;
- as toras podem ser empilhadas até 4 m de altura, reduzindo a área de pátios;
- a operação com forwarder é menos cansativa;
- a produtividade do forwarder é menos dependente do tamanho da árvore;
- a carga do forwarder é maior do que a do skidder de mesma potência (até 3x mais);
- longas distâncias são mais econômicas com forwarders;
- forwarders são mais seguros, principalmente à noite;
- o consumo de combustível por unidade de volume de madeira é geralmente menor (Makkonen, 1989).

3.6. Trator agrícola mais carreta e grua

Em função do custo elevado de aquisição dos tratores florestais auto-carregáveis, foram feitas diversas adaptações de máquinas agrícolas procurando atender ao transporte primário de madeira. O trator agrícola com carreta e grua acopladas, por vezes chamado de “pré-forwarder”, é um conjunto situado em um nível intermediário na mecanização florestal, indicado para aplicação em florestas com inclinações laterais em torno de 10% no máximo.

São utilizados tratores com potência a partir de 80 CV, possibilitando a operação com toras de 2,5 a 5,0 m de comprimento e capacidade de carga líquida ao redor de 7,5 toneladas. A grua é montada sobre a carreta possibilitando, de acordo com Duraflora (1991), ganhos de rendimento e disponibilidade mecânica e melhor postura do operador em relação à grua montada sobre o trator (Figura 31). Com carga média de 13,5 st/viagem e a uma distância média de 300 metros, em 1ª rotação em floresta de eucalipto, o equipamento atingiu um rendimento operacional médio ao redor de 20,1 st/hora.



Figura 31. Trator agrícola com carreta e grua acopladas.

Para o trabalho em terreno acidentado, Ribeiro e Souza (1992) adaptaram um guincho para arraste, com capacidade de 12 toneladas, à carreta e introduziram um cabo de retorno para diminuir o esforço físico do ajudante, que leva o cabo de aço até a pilha de madeira, devido às grandes distâncias de arraste e altas declividades.

Em um outro exemplo, carretas tracionadas por trator agrícola transportam dois tipos de toras: 2,40 m e 5,50 m. Existe uma carreta menor com capacidade de 10 st, de um eixo, para o transporte de toras de 2,40 m e rendimento operacional entre 30 a 35 viagens por dia. Há também uma carreta de maior porte (capacidade de 20 st), de dois eixos, empregada preferencialmente para o transporte de toras de 5,50 m e rendimento operacional de cerca de 15 viagens por dia (10 horas). Essa carreta é tracionada por trator Valmet 885 e equipada com grua Implemater CF-5550.

3.7. Trator agrícola equipado com guincho arrastador

Acoplado a um trator agrícola de rodas com aproximadamente 100 CV de potência bruta no motor, o guincho de arraste TMO-33t (Figura 32) possui um tambor com capacidade para 200 m de cabo de aço com 5/8” de diâmetro, sendo a sua aplicação otimizada na situação: distância de arraste inferior a 50 m, largura de estrada superior a 4 m, equipe de trabalho de um operador e quatro ajudantes e declividade do terreno superior a 60%. O rendimento operacional máximo estimado foi de 33,93 st/h e custo mínimo de US\$ 0,74/st (Volpato et al., 1991)

A madeira é extraída na forma de toretes com 2,20 m, empilhados na área de corte em volumes de 2 st. As pilhas são formadas sobre toretes dispostos transversalmente, ficando alguns centímetros acima da superfície do solo, para facilitar o engate do cabo de aço. Segundo os mesmos autores, não se recomenda a utilização deste equipamento para distâncias de arraste superiores a 100 m.



Figura 32. Guincho arrastador TMO-33t.

3.8. Trator com “berço”

Trata-se de um trator agrícola com pneus com estrutura adaptada que permite o carregamento de madeira nas partes dianteira e traseira, com capacidade variando entre 4,5 e 7,0 st/viagem (Figura 33). O seu uso é indicado até 30% de inclinação do terreno. Com equipe de duas pessoas apresenta um rendimento operacional ao redor de 45 st/máquina.dia, e com 4 pessoas uma produção de 72 st/máquina.dia (Seixas, 1987).



Figura 33. Trator com berço.

3.9. Calhas

São utilizadas em condições de topografia acidentada, inclinação mínima de 40% e restritas à exploração de madeira curta. São feitas de fibra de vidro (Figura 34), mais leves e com 5 metros de comprimento, ou de metal, mais pesadas (15 kg/m) e com 2 a 3 metros de comprimento. O inconveniente da utilização de calhas refere-se à montagem, desmontagem e transporte do material, sendo gasto de 10 a 20% do tempo total por faixa de terreno explorada. A montagem varia de 100 a 200 metros de comprimento, englobando uma faixa de retirada de madeira entre 12 e 14 metros de largura. Por vezes, coloca-se óleo usado na calha para diminuir o atrito e aumentar o rendimento operacional, que varia entre 25-40 st/equipe.dia (3 homens) conforme as condições do terreno.



Figura 34. Transporte de toretes por calhas (Foto: FAO)



3.10. Extração por cabos aéreos

O processo de movimentação de toras até à máquina ou um pátio enquanto a máquina encontra-se estacionada é chamado “yarding”. O termo “yarding” é geralmente aplicado a sistemas de cabos que, em teoria, são capazes de realizar um levantamento vertical. Isto significa que as toras podem ser ao menos suspensas parcialmente durante parte do ciclo de transporte (Conway, 1976).

Um elemento que todos sistemas de cabos têm em comum é o “yarder” - a fonte de potência do sistema. “Yarders” são geralmente movidos a diesel, com motores variando entre 90 a 700 HP. Um “yarder” terá ao menos um tambor, ou até quatro, servindo para armazenamento dos cabos e transferência de força.

Nas regiões Noroeste e “Intermountain” dos EUA, sistemas de cabos tornaram possível a colheita de madeira em terrenos que de outra maneira seriam considerados inoperáveis. Sistemas de cabos são usados em terrenos variando entre plano até 100 por cento de declividade, mas é em terrenos inclinados que os sistemas de cabos apresentam vantagens bem nítidas. A construção de estradas é desnecessária para o arraste de toras e, quando o correto sistema de cabos é empregado, as toras podem ser inteiramente suspensas acima do terreno, resultando em menores danos ao solo. A colheita por meio de cabos também pode ser usada em terrenos alagados onde tratores e skidders de pneus possam ter dificuldades (Conway, 1976).

Sob condições apropriadas, esses sistemas são mais rápidos do que o arraste no terreno. A principal desvantagem é o elevado capital de investimento e os altos custos operacionais. Moshenko (1991) conduziu um estudo para avaliar a produtividade e custo de um “yarder” Washington 108 equipado com torre móvel, trabalhando em uma floresta com 0,45 m³ de volume por árvore e 327 m³ de madeira por hectare. Os custos fixos e operacionais foram de US\$158.68/hora e a produtividade média atingiu 40,0 m³, resultando em um custo de extração de US\$3.97/m³ em uma distância média de transporte de 85 metros. Forrester (1993) estudou um pequeno “yarder” Skylead C40 trabalhando em uma floresta com 0,50 m³ por árvore e distância de transporte de 108 m. Os custos operacionais atingiram US\$103.36 e a produtividade média chegou a 17.0 m³/h, proporcionando um custo final de US\$6.08/m³. Comparações entre esses estudos não são possíveis devido às diferentes condições dos locais. Putnam et al. (1984) avaliaram um “yarder” móvel Schield Bantam de 120 HP em uma operação de desbaste conduzida em uma floresta com 34 anos de idade, D.A.P. médio de 32,5 cm e altura total de 23 m. A distância média de transporte era de 182 m, em declives variando de zero a 50 por cento, com rendimento de 5,52 m³/h e custo de US\$17.08/m³.

Miller e Sirois (1986) compararam distúrbios no solo causados por teleféricos com os provocados por skidders e concluíram que as trilhas dos skidders afetaram 12,2% de área a mais do que os corredores abertos para os teleféricos (21,4% vs. 9,2%). As trilhas de arraste requereram mais do que duas vezes a área dos

corredores para transportar a mesma quantidade de toras e 67% das trilhas usadas para arraste estavam também compactadas ou profundamente alteradas, comparado com 58% dos corredores.

Em uma situação de transporte de madeira morro abaixo por meio de teleférico, ocorreu um aumento na taxa de deposição de sedimentos de cerca de 0,6 vezes em terreno acidentado com 67% de declive. Em contraste, a erosão causada pela construção de estradas aumentou a deposição de sedimentos em 750 vezes no decorrer de um período de 6 anos após a construção (MEGAHAN e KIDD, 1972). Baseado nesses resultados, a redução da construção de estradas é uma vantagem para o sistema de teleféricos quando comparado com o arraste de toras sobre o solo. Wooldridge (1960) encontrou que o distúrbio do solo causado por um teleférico Wyssen era somente um quarto daquele causado pela operação de um trator de esteiras padrão. Em outro teste comparativo entre quatro sistemas de colheita, somente o transporte por helicópteros apresentou menos distúrbios no solo do que o teleférico Wyssen (KLOCK, 1975).

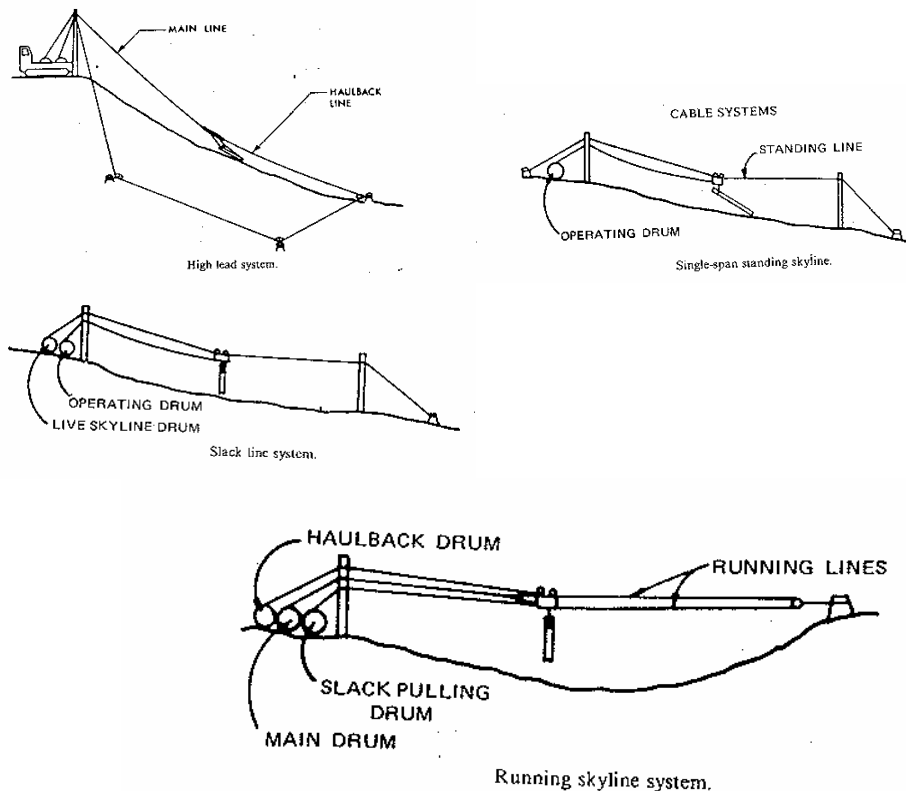


Figura 35. Esquemas de instalação de teleféricos (WENGER, 1984).

No Brasil sua utilização ainda não é muito difundida, com algumas empresas tendo iniciado o seu uso no início deste século, geralmente com torres com cabos aéreos sem cabo de retorno (Figura 36). Os alcances máximos dos modelos utilizados variam entre 300 e 600 metros, com arrastes laterais entre 15 e 25 metros de cada lado. As equipes de arraste, por módulo de torre, são formadas

por 5 a 7 trabalhadores, com produtividade entre 29 e 37 estéreos por hora. A média mensal operacional é de 130 horas e as perdas, por chuva, manutenção e deslocamentos das torres, é de 46 horas por mês (KRETSCHKE et al., 2006).



Figura 36. Sistema de cabo aéreo adaptado em trator agrícola (Foto: SAUR).

3.11. Extração por helicópteros

Helicópteros são usados para extração de madeira de locais de difícil acesso, reduzindo os impactos ambientais devido à construção de estradas e uso de transporte convencional em terrenos mais sensíveis (Figura 37). Suas principais características incluem: (a) habilidade para movimentação de cargas verticalmente, (b) habilidade na colocação da carga ou gancho de maneira precisa, (c) ciclos rápidos, (d) capacidade de voar com ventos de até 90 km/h, e (e) facilidade de pousar e aguardar no caso de visibilidade reduzida ou tempestades. As principais desvantagens são os altos custos de investimento e operacionais (GUIMIER e WILLBURN, 1984).



Figura 37. Transporte de toras por helicóptero na África (Foto: G. Cambray).



O'Leary (1962) descreveu algumas das vantagens dos helicópteros incluindo: pequena dependência do volume de madeira por hectare; baixo índice de danos à madeira; menos trilhas de arraste; e adaptável a diversos locais diferentes. Clayton (1981) comparou um helicóptero com um teleférico e concluiu que o helicóptero produziu cerca de metade do distúrbio no solo causado pelo sistema de cabos. Algumas desvantagens são: o comprimento das toras deve ser determinado em função do peso ao invés da comercialização; altos riscos de segurança; necessidade de pessoal altamente especializado para a manutenção; custos elevados na operação de corte devido à dificuldade de acesso; limitações devido às condições climáticas (ventos fortes e neblina); a operação é dependente da disponibilidade de um único equipamento.

Um helicóptero Boeing Vertol-107 II, com capacidade de 5 toneladas, realizou o transporte de madeira de uma área pantanosa, inapropriada para sistemas convencionais de colheita e com custo elevado para construção de estradas. Esse helicóptero teve uma produção de 79 m³/h, fazendo 23 viagens por hora e apresentando um custo de US\$26.42/m³ de madeira transportada, em uma distância média de 470 m (JACKSON e MORRIS, 1981).

Nos E.U.A. cerca de 2% da madeira são extraídos por meio de helicópteros. A perspectiva é de aumento neste percentual no futuro devido às restrições ambientais, a necessidade de retirada urgente da madeira em áreas sob ataque de insetos ou após incêndio e o crescente interesse no manejo de ecossistemas que irá aumentar os cortes seletivos por diversas razões (LAMBERT e JURAS, 1992).

4. Bibliografia

- AMARAL, P. C.; VERÍSSIMO, J. A. O.; BARRETO, P. G.; VIDAL, E. J. S. Floresta para Sempre: um Manual para Produção de Madeira na Amazônia. Belém: Imazon, 1998. 130 p.
- ANDERSSON, B. Cut-to-length and tree-length harvesting systems in Central Alberta: a comparison. FERIC, Technical Report No. Tr-108, Canada. 1994. 32 p.
- CENIBRA. Planejamento e controle de sistemas operacionais em áreas acidentadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, Belo Horizonte, 1991. Anais. Viçosa, SIF. P. 227-39.
- CLAYTON, J.L. Soil disturbance caused by clear cutting and helicopter yarding in the Idaho Batholit. USDA Forest Service. Res. Note INT-305. 1981. 7 p.
- CONWAY, S. Logging Practices: Principles of Timber Harvesting Systems. Miller Freeman Publications. 1976. 416 p.
- DURAFLORE. Utilização de feller-bunchers e auto-carregáveis na exploração florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, Belo Horizonte, 1991. Anais. Viçosa, SIF. P.325-48.
- FAO. Logging and log transport in man-made forest in developing countries. Rome, 1974. 134 p.



- FORRESTER, P.D. Observations of two Skylead C40 Cable Yarders. Vancouver, FERIC. Technical Note TN-201. 1993. 8 p.
- GUIMIER, D.Y; WILLBURN, G.V. Logging with heavy-lift airships. FERIC, Vancouver. Technical Report No. TR-58. 1984. 115 p.
- JACKSON, B.D.; MORRIS, R.A. Helicopter logging of baldcypress in southern swamps. ASAE Paper No. 81-1584, St. Joseph, Michigan. 1981. 7 p.
- KLOCK, G.O. Impact of five postfire salvage logging systems on soils and vegetation. J. Soil and Water Conservation. 30(2): 78-81. 1975.
- KOGER, J.L. Factors affecting the production of rubber-tired skidders. Technical Note B18, Division of Forestry, Fisheries, and Wildlife Development, Norris, Tennessee. 1976. 55 p.
- KRETSCHKEK, O.E.; OLIVEIRA, A.A.P.; PERRETO, G.A.; CORREA, C. Sistema de colheita de madeira com a utilização de cabos aéreos como alternativa para regiões inclinadas. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 14, 2006, Curitiba, **Anais**. Curitiba: UFPR. 2006. p. 123-31.
- LAMBERT, M.B.; JURAS, A. Computer supported planning for helicopter logging. In: Proceedings of Computer Supported Planning of Roads and Harvesting Workshop, Feldafing, 1992. IUFRO. P. 208-19. 1992.
- LANFORD, B.L.; STOKES, B.J. Comparison of two thinning systems. Part I. Stand and site impacts. Forest Products Journal, 45(4): 74-9. 1995.
- McCARY, J. Steady pace. Timber Harvesting, Montgomery, AL. March:12-4. 1991.
- McNEEL, J.F; BALLARD, T.M. Analysis of site stand impacts from thinning with a harvester-forwarder system. Journal of Forest Engineering. 4(1): 23-29. 1992.
- MACHADO, C.C. Exploração florestal. Viçosa, Imprensa Universitária. 1984. 3 vol.
- MAKKONEN, I. Choosing a wheeled shortwood forwarder. FERIC Technical Note 136. FERIC, Point Claire, Quebec, Canada. 1989. 12 p.
- MEGAHAN, W.F.; KIDD, W.J. Effects of logging and logging roads on erosion and sediment deposition from steep terrain. Journal of Forestry, 10(3):136-41 p. 1972.
- MILLER, J.H.; SIROIS, D.L. Soil disturbance by skyline yarding vs. Skidding in a Loamy Hill Forest. Soil Sc. Soc. Am. Journal. 50(6): 1579-83. 1986.
- MOSHENKO, D.W. Grapple yarding in the interior of British Columbia. Vancouver, FERIC. Technical Note TN-176. 10 p. 1991.
- O'LEARY, J.E. Some factors affecting the feasibility of helicopter logging in the Pacific Northwest and Alaska. OSU, Corvallis. 1962. 108 p.
- PEÑA, S.V.; COLLADO, J.M.; ALVAREZ, M.A.G. Los tractores en la explotación forestal. Madrid, Neografis, 1993. 150 p.
- PLAMONDON, J.A.; FAVREAU, J. Establishing the optimal skidding or forwarding distance as a function of road cost. FERIC Technical Note TN-219, 1994. 8 p.
- PUTNAM, N.E.; KELLOGG, L.D.; OLSEN, E.D. Production rates and costs of whole-tree, tree-length, and log-length skyline thinning. Forest Products Journal. 34(6): 65-9. 1984.



- RIBEIRO, R.S.; SOUZA, J.L. O desenvolvimento de técnicas de exploração em áreas acidentadas. In: VII SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, Curitiba, 1992. Anais. Curitiba, UFPR. P. 102-12. 1992.
- RUMMER, R. A case study of skidding with the Johnson grapple. ASAE Paper No.88-7549, ASAE, St. Joseph, MI, USA. 1988. 9 p.
- SEIXAS, F. Exploração e transporte de *Eucalyptus* spp. Piracicaba, IPEF, 1987. 40 p.
- SOUZA, A.P. et al. Estudo técnico-econômico da extração de madeira de eucalipto utilizando o trator florestal transportador ("forwarder"). Revista Árvore, Viçosa, 12(2): 87-99, 1988.
- STAAF, K.A.G.; WIKSTEN, N.A. Tree harvesting techniques. Dordrecht, Martinus Nijhoff, 1984. 371 p.
- STOKES, B.J. Harvesting developments in the South. In: Proceedings of the 21th annual hardwood symposium, Hardwood Research Council. May 24-26, 1993, Cashiers, NC. P. 59-71. 1993.
- STUDIER, D.D.; BINKLEY, V.W. Binkley. Cable logging systems. Oregon State University Book Stores, Corvallis, OR. 1981. 211 p.
- TANAKA, O.K. A utilização de animais em operações de extração florestal. In: SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, Curitiba, 1987. Anais. Curitiba, UFPR. . 118-32. 1987.
- TUFTS, R.A.; STOKES, B.J.; LANFORD, B.L. Productivity of grapple skidders in southern pine. Forest Products Journal. 38(10):24-30. 1988.
- VOLPATO, C.E.S. et al. Otimização da produtividade e do custo da extração florestal com o guincho-arrastador. Revista Árvore, Viçosa, 15(3): 296-307, 1991.
- WÄSTELUND, I. Extent and causes of site damage due to forestry traffic. Scandinavian Journal of Forest Research. 7: 135-42. 1992.
- WENGER, F. Forestry handbook. John Wiley & Sons, New York, 1984. 1335 p.
- WOOLDRIDGE, D.D. Watershed disturbance from tractor and skyline crane logging. J. For. 58(5):369-72. 1960.
- WRONSKI, E.B. Impact of tractor thinning operations on soils and tree roots in a karri forest, Western Australia. Aust. For. Res. 14: 319-32. 1984.



CAPÍTULO VII. PLANIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE COLHEITA

1. Introdução

Ao se planejar a colheita de madeira deve-se coordenar as diferentes atividades, procurando racionalizar o fluxo de madeira e estruturar cada etapa de maneira que se obtenha o máximo rendimento, ao mesmo tempo em que se contempla o melhor atendimento possível à etapa subsequente.

Para tanto, as equipes ou equipamentos de corte atuam em “eitos”, número de linhas de árvores que compõem a faixa da floresta a ser cortada. Variando em termos de eitos de 2, 3, 4 e 5 linhas, os mesmos são estabelecidos em função da produtividade da floresta, espaçamento de plantio, alcance dos “braços” de corte, tamanho da equipe etc. Quanto ao tamanho da equipe, no caso de corte manual, existe uma série de combinações como o operador de motosserra trabalhando isolado (1+0), o operador mais um ajudante (1+1), (1+2), (1+4), ou mesmo a equipe (2+0), ou seja, dois operadores revezando-se na utilização de uma motosserra e atividades complementares de desgalhamento com machado e “amontoamento” das toras (MACHADO e CASTRO, 1985; SEIXAS, 1987).

2. Corte raso

Sistema manual

O procedimento descrito a seguir é um exemplo da operação de corte raso feita em plantios de *Eucalyptus* spp por uma equipe composta por um operador de motosserra mais dois ajudantes (1+2). O operador trabalha em um eito de 5 linhas realizando as seguintes operações: corte e toragem em peças de 2,20 m. O operador derruba a primeira linha e depois passa para a quinta linha (Figura 1). Os ajudantes desgalham a primeira linha com o auxílio de machado e depois continuam o serviço na quinta linha. Enquanto isso, o operador retorna para a primeira linha para realizar a toragem e depois termina com a quinta linha. Esse movimento cíclico é completado pelos ajudantes que amontoam as toras e selecionam as de diâmetro inferior a 8 cm para energia (Figura 2). O mesmo tipo de trabalho continua depois na segunda, quarta e terceira linha, sendo que algumas empresas eliminam uma linha, aumentando o espaçamento entre a segunda e a terceira linha, facilitando a entrada de máquinas, e trabalhando com

eito de 4 linhas. O rendimento médio operacional é de 49 st/equipe.dia (SEIXAS, 1987).

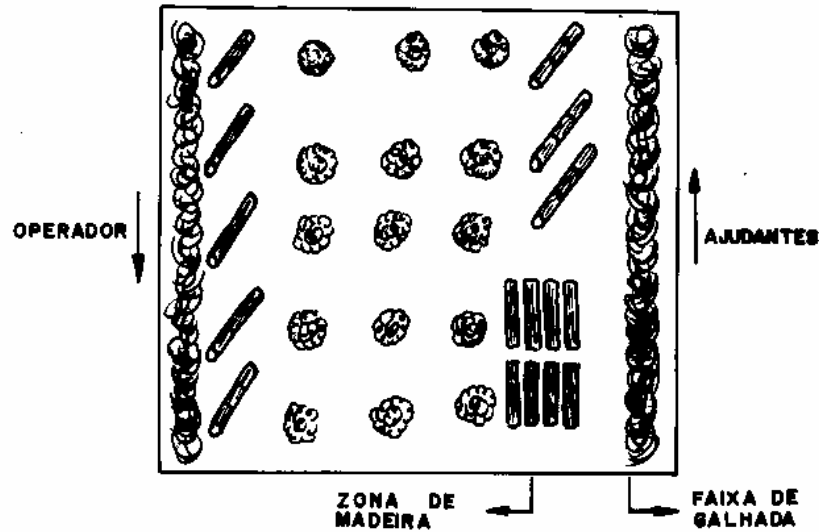


Figura 1. Toragem e empilhamento da 1ª e 5ª linha de árvores.



A



B

Figura 2. Trabalho de “amontoamento” de toras (A) e separação em pilhas para energia (Esquerda) e celulose (Direita) (B).

Sistemas mecanizados

O corte com um feller buncher “drive-to-tree” Hydro-Ax 611 EX (Figura 3) é feito em um eito de 3 linhas de árvores, sendo derrubada uma linha por vez. Após o corte de uma linha, a máquina retorna ao local de início do trabalho, sem derrubar uma só árvore, e reinicia o processo na linha seguinte, amontoando as árvores em pilhas, com a base no sentido da direção da saída da madeira, de acordo com a capacidade da garra do “skidder” que irá realizar o transporte primário da madeira.

O rendimento do feller buncher em povoamentos de eucalipto com árvores médias de $0,20 \text{ m}^3$ é de 110 st/hora.



Figura 3. Feller buncher Hydro-Ax 611 EX.

Lopes (2007) descreve um sistema de corte com feller buncher “swing-to-tree”, constituído de uma escavadora de esteiras Cat 320 CL equipada com cabeçote de corte Hultdins (Figura 4). A faixa de corte do feller buncher era de quatro linhas, sendo que a máquina trafegava sobre a 2ª linha de plantio, realizando o corte da 1ª e 2ª linhas por um lado e o da 3ª e 4ª linhas por outro. O feller buncher iniciava a derrubada com quatro linhas de corte direcionando a base dos feixes das árvores para a extremidade do talhão. Após realizar a derrubada das quatro linhas, formando os feixes a aproximadamente 45° em relação ao alinhamento de plantio (Figura 5), o feller buncher retornava em direção ao início da segunda linha, formando, assim, o oito. A capacidade operacional variou entre 13 e $41 \text{ m}^3/\text{h}$, em função da produtividade da floresta, entre 100 e $300 \text{ m}^3/\text{ha}$.



Figura 4. Feller buncher Cat 320 CL (LOPES, 2007).

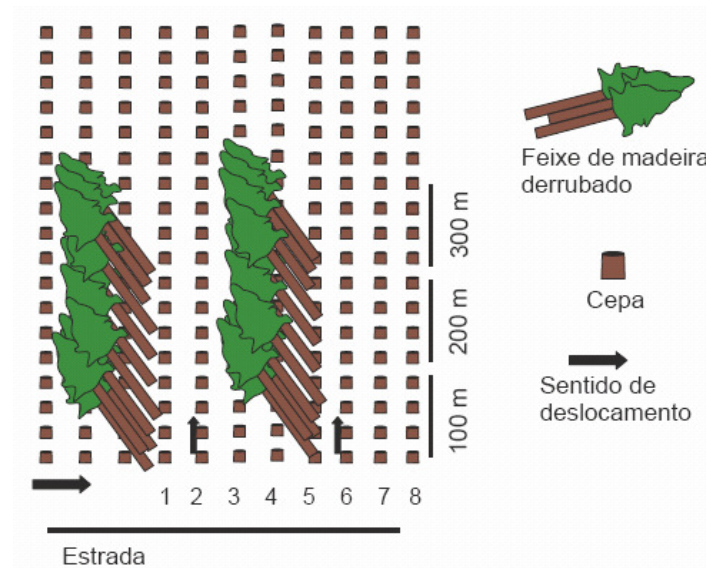


Figura 5. Disposição do feixe de árvores cortadas pelo feller buncher (LOPES, 2007).

O corte de árvores com harvesters pode ser feito em eitos de 4 linhas, com o resíduo (galhos e folhas) sendo depositado na frente do trator, o que pode diminuir a compactação em virtude do deslocamento do harvester e do forwarder sobre uma camada de amortecimento da pressão aplicada sobre o solo (Figura 6). O harvester desloca-se sobre a 2ª linha de árvores e as toras são depositadas transversalmente à sua esquerda, facilitando a operação de carregamento do forwarder.

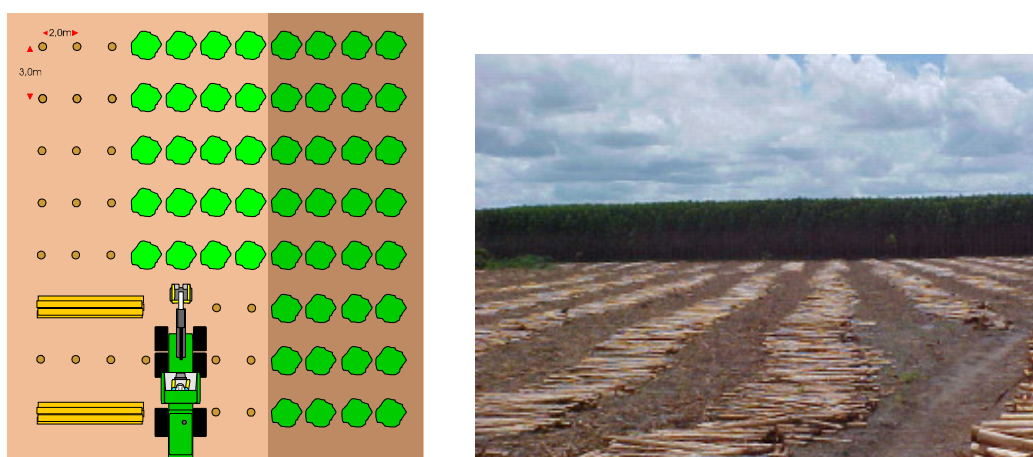


Figura 6. Esquema de corte com harvester e deposição final das toras e resíduos (Desenho: Ruben J. Martins).



3. Corte seletivo (Desbaste)

Trata-se de um sistema de colheita comumente utilizado em florestas naturais e plantios de coníferas, onde são retiradas apenas algumas árvores, com aproveitamento parcial da floresta e liberação de espaço para um maior crescimento das árvores remanescentes.

Deve-se prever, já no plantio, o tipo de exploração e equipamentos a ser utilizados, para se adequar convenientemente o espaçamento e alinhamento das árvores, facilitando a entrada e movimentação de máquinas dentro do povoamento. Atenção especial deve ser dada quando da retirada da madeira devido aos obstáculos representados pela presença das árvores remanescentes, procurando-se evitar a ocorrência de danos às mesmas.

Corte seletivo com retirada manual: trata-se de um sistema de toras curtas com todo o processamento sendo feito dentro do talhão. Um operador de motosserra realiza a derrubada, desgalhamento, toragem e amontoamento das peças, com as técnicas operacionais semelhantes àquelas utilizadas no corte raso.

Em primeiro desbaste, com as toras de pequenas dimensões, a distância de 20 m entre os carregadores, para a retirada da madeira de dentro do talhão, possibilita ao trabalhador carregar os toretes por 10 m no máximo. Nos desbastes subsequentes já se recomenda utilizar a retirada mecânica. Para a abertura dos carregadores retira-se uma linha de árvores (desbaste sistemático) a cada 20 m e realiza-se o desbaste seletivo nas outras linhas.

Corte seletivo com arraste mecânico: quando se realiza o arraste da madeira através de máquinas deve-se procurar retirar a árvore processada o menos possível, realizando essas operações à margem do carregador. Isso proporciona um maior rendimento operacional pela facilidade de manuseio das toras e retirada de uma carga maior de madeira por ciclo de transporte.

Trata-se de um sistema de toras longas onde o operador de motosserra, ou “feller-buncher”, realiza a derrubada orientando a queda de modo a facilitar a operação de arraste (Figura 7). Uma das particularidades desse procedimento em relação ao anterior refere-se à marcação das árvores para corte, cuja orientação deve ser feita de forma a liberar espaços para o estabelecimento de trilhas de arraste. Procura-se com isso facilitar o sistema de colheita, deixando em segundo plano a qualidade da floresta.

Como a toragem vai ser feita na zona de madeira, esta deve ser aumentada e a distância entre carregadores pode ser maior, cerca de 100 m, perdendo menos linhas de árvores em comparação com o método anterior.

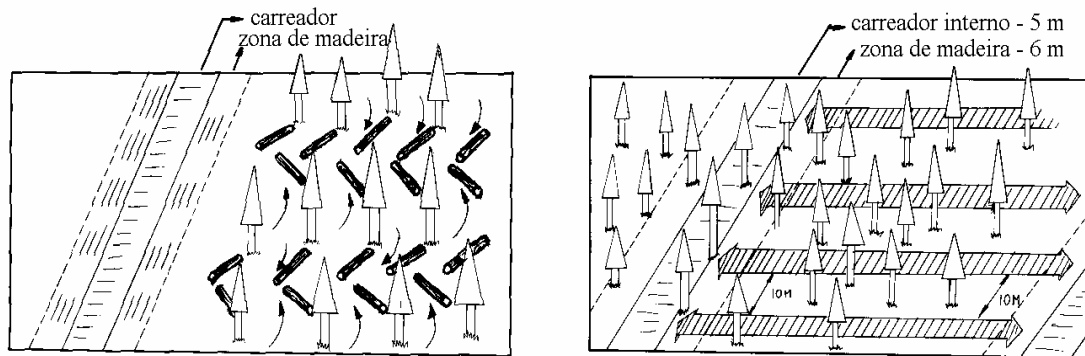


Figura 7. Orientação de derrubada de árvores.

4. Bibliografia

LOPES, S.E. Análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal. Viçosa, 2007. 124 p. (Tese-Doutorado-UFV).

MACHADO, C.C.; CASTRO, P.S. Exploração Florestal. Viçosa, Imprensa Universitária, 1985. 4 vol.

SEIXAS, F. Exploração e transporte de *Eucalyptus* spp. Piracicaba, IPEF, 1987. 40 p.



CAPÍTULO VIII. DESCASCAMENTO

1. Introdução

A operação de descascamento da madeira pode ser necessária conforme a utilização que se vai dar à mesma, sendo feita para celulose, chapas, compensados, laminados etc. É realizada manual ou mecanicamente, tanto no campo como no pátio da indústria, com a tendência atual de se localizar mais na indústria em virtude da utilização da casca para energia, diminuição dos custos operacionais e pela possibilidade de concentração de trabalho no pátio. Em um levantamento junto a cinco empresas do Estado de São Paulo (Duratex, Ripasa, VCP, International Paper e Suzano), do consumo total anual de 13,7 milhões de m³ de madeira com casca, 56% eram descascados no campo, 36% descascados no pátio da fábrica e os 8% restantes não necessitavam de descascamento pois eram utilizados diretamente para produção de energia.

A questão da utilização da casca foi abordada por Seixas et al. (2005), avaliando o balanço energético e econômico entre duas alternativas de locais de descascamento de toras de eucalipto para produção de celulose, no campo ou no pátio da indústria, e o transporte rodoviário da madeira com ou sem casca. A quantidade de casca era equivalente a 9,4% do peso total do tronco e o poder calorífico médio da casca atingiu 16,5 MJ kg⁻¹, o que acabou resultando em uma disponibilidade energética de 195,2 GJ por hectare a partir da casca. O aproveitamento da casca para queima em caldeiras resultou em um saldo equivalente a 4.800 litros de óleo diesel por hectare. Em termos econômicos, sem considerar o uso da casca para energia, o descascamento no campo foi mais vantajoso, devido principalmente aos gastos com o transporte rodoviário da casca, com redução de R\$4,52 por m³ de madeira sem casca.

No caso do descascamento feito no pátio da fábrica, o conteúdo de umidade da madeira é de suma importância para a eficiência da operação. Silva (1983) comenta que a casca de *Eucalyptus globulus* é facilmente separada do tronco quando verde e à medida que a madeira vai secando, a casca fica cada vez mais aderente ao lenho, tornando-se o descasque extremamente difícil logo na terceira quinzena após o corte. Portanto, a realização do descascamento na fábrica demanda o transporte da madeira o mais rapidamente possível após o corte, o que implica dizer que parte significativa da carga de um caminhão será composta de água. Busnardo et al. (1982) determinaram os teores de água para árvores de *Eucalyptus saligna*, com 8 anos de idade, logo após o corte, encontrando os



valores de 53,6% (base úmida) para o tronco integral, incluindo casca, e 71,8% (base úmida) para casca somente, devido a sua menor densidade (Busnardo e Foelkel, 1978).

Considerando-se a casca como um subproduto do consumo de madeira, conclui-se que parte da capacidade de carga do veículo rodoviário não será destinada ao processo industrial principal, por exemplo produção de celulose. O transporte conjunto de madeira, casca e água acaba afetando o custo do frete pago pela matéria-prima. Miranda *et al.* (2002a) comentaram que a madeira transportada sem casca, de um povoamento de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, com 9 anos de idade, teve seu custo médio reduzido em 10,1%, exatamente igual ao percentual do volume de casca.

Outro aspecto com relação ao descascamento na indústria refere-se à exportação de nutrientes através da casca, o que pode comprometer a capacidade de sustentação do “sítio”, exigindo-se a reposição desses nutrientes por meio da prática de adubação. Vital (1996) determinou a quantidade de biomassa existente nos diferentes compartimentos arbóreos em um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos 7 anos de idade, e relacionou as respectivas quantidades de nutrientes existentes (Tabela 1). Miranda *et al.* (2002b) concluíram que o custo de reposição dos nutrientes exportados de um povoamento de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, com 9 anos de idade, foi de R\$208,20 por hectare, sem considerar os custos de aplicação. Destaca-se também o efeito benéfico da casca, como parte dos resíduos da colheita deixados sobre as trilhas de tráfego de equipamentos de retirada de madeira, quanto à diminuição do impacto na compactação do solo (WRONSKI, 1990; SEIXAS *et al.*, 1995).

2. Locais de descascamento

2.1. No campo

Conforme já comentado, a principal vantagem do descascamento no campo refere-se ao não transporte de casca, evitando-se a retirada dos nutrientes nela contidos de dentro da floresta e economizando-se o espaço de carga nos caminhões. Estes fatores contrastam com a demanda de madeira para energia, sendo necessário realizar um balanço energético para se determinar o saldo efetivo em cada situação específica de aproveitamento de madeira para energia.

Pode ser feito descascamento manual com facões ou machadinhas ou mecânico com descascadores portáteis acoplados a tratores agrícolas. A escolha de uma ou outra opção dependerá da disponibilidade de mão-de-obra, recursos financeiros, custo operacional e condições do terreno. Porém, o descascamento manual acaba restringindo-se mais aos locais onde não seja possível a entrada do descascador devido aos acidentes do terreno.



Tabela 1. Fitomassa arbórea e nutrientes estocados ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) nos compartimentos arbóreos de *Eucalyptus saligna* e suas respectivas porcentagens do peso total (VITAL, 1996).

Comp.	Biomassa $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (%)	Elementos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (%)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Lenho	145.180,48 (81,5)	102 (50,63)	29 (55,04)	160 (51,80)	145 (18,24)	44 (32,71)	15 (47,50)
Casca	14.657,40 (8,2)	31 (15,33)	13 (25,00)	56 (18,07)	490 (61,50)	57 (42,94)	7 (23,98)
Ramos	13.615,25 (7,6)	26 (12,89)	6 (10,33)	46 (15,01)	123 (15,39)	20 (15,34)	3 (8,90)
Folhas	4.616,18 (2,6)	43 (21,16)	5 (9,63)	47 (15,12)	39 (4,87)	12 (9,01)	6 (19,63)
Total	178.069,31	200,75	52,76	308,31	796,06	133,13	30,57

O descascador portátil possui um custo inicial pequeno, quando comparado aos equipamentos estacionários de pátio, mas o seu custo operacional é alto, tendo um rendimento menor que o descascador industrial. A vantagem em relação ao pátio é a sua maleabilidade em termos de se trabalhar com rendimentos intermediários, sem necessidade de uma carga fixa, e a melhor qualidade do descascamento feito por meio de facas. As desvantagens do descascamento no campo são: a) quando a alimentação do descascador é feita manualmente; b) limitações quanto ao diâmetro máximo da madeira; e c) a utilização de óleo combustível ao invés de energia elétrica. Este último item depende de condições temporais da flutuação de preços dos combustíveis derivados do petróleo.

Outra opção mecânica é a utilização do harvester (Figura 1), adaptando-se o rotor para também realizar o descascamento, onerando-se a sua capacidade produtiva em 10 a 30%, ou em apenas 10 a 15% quando as árvores são mais volumosas, com 0,3 a 0,4 m^3 cada. Isso se deve ao fato do harvester realizar o processamento individual das árvores, o que diminui o rendimento no caso de árvores mais finas (FOELKEL, s.d.).



Figura 1. Harvester realizando operação de descascamento.

2.2. Pátio da fábrica

Um dos equipamentos mais utilizados é o tambor de descascamento, com as vantagens de poder utilizar energia elétrica e ter um custo operacional mais baixo. Em contrapartida, o investimento inicial é elevado, o que limita o uso deste tipo de equipamento nas fábricas. O seu rendimento é bastante alto em relação ao descascador portátil, podendo trabalhar durante as 24 horas do dia. Podem ser utilizados também descascadores anelares, semelhantes aos portáteis, fixos e utilizando-se de energia elétrica. A grande vantagem é a concentração da madeira em um só local e a possibilidade de aproveitamento direto da casca nas caldeiras.

2.3. Pátio intermediário de processamento

Aqui se utiliza o descascador portátil em um único local, evitando o movimento dentro da floresta e aumentando a eficiência do equipamento devido à concentração da operação. A máquina fica em um determinado local e pode ser alimentada mecanicamente. A desvantagem ainda se refere à utilização de combustível derivado do petróleo e à necessidade do transporte posterior da casca.

3. Fatores que influenciam o descascamento

As dificuldades no descasque estão associadas à adesão da casca à madeira, à espessura e teor de casca, ao tipo de casca, à rugosidade e resistência da casca, ao teor de nós nas toras, ao diâmetro das toras e ao teor de umidade da casca. A adesão da casca na madeira está correlacionada à estação do ano, ao tipo de

casca, ao teor de umidade da casca e da madeira, à anatomia da casca, dentre outros fatores. A adesão da casca é muito maior quando a árvore está sofrendo ou sofreu algum stress significativo, como seca forte, incêndio, ataque de alguma praga, déficit de nutrientes no solo, etc. (FOELKEL, s.d.). Os principais fatores são os seguintes:

a) Espécie: a variação do tipo de casca pode exigir equipamentos diferentes em função da dificuldade de descascamento. Por exemplo, a casca de eucalipto (Figura 2) é fibrosa e requer dois tipos de facas no descascador anelar: facas de “corte”, para seccionar a casca em faixas ao longo do tronco; e facas “raspadoras” para retirar a casca do lenho. No caso de madeira de coníferas somente são necessárias as facas “raspadoras” (Figura 3).



Figura 2. Cascas de eucaliptos: esfoliante (Esq.) e vermelha (Dir.) (FOELKEL, S.D.)

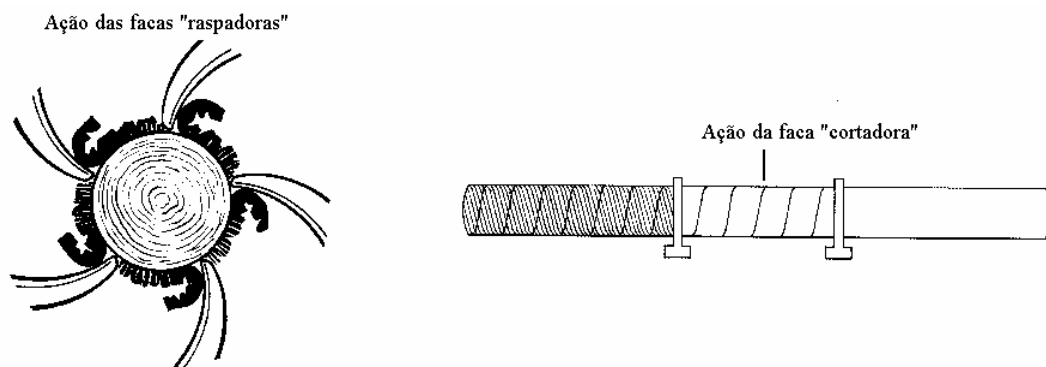


Figura 3. Esquema de ação de facas: “raspadoras” (E) e “cortadoras” (D).

b) Tempo após o corte: para facilitar o descascamento manual deve-se realizá-lo até, no máximo, 24 horas após o corte. O descascamento mecânico tem uma condição mais favorável até 40 a 45 dias após o corte, de acordo com a espécie, que só é recuperada 4 a 5 meses após. Durante esse intervalo (45 dias até 4 meses) a eficiência de descascamento mecânico cai sensivelmente.

A casca pode ser facilmente removida quando a árvore é recém abatida (umidade da casca entre 60 a 70%), Conforme ela vai-se secando, ela se contrai e forma

uma camisa difícil de ser removida por meios mecânicos (umidade da casca entre 45 a 55%). Só após uma secagem muito intensa, quando a casca começa inclusive a se soltar do tronco e a se arrebentar naturalmente, é que o descascamento fica facilitado de novo (umidade da casca entre 35 a 40%). Por essas razões, as eficiências dos descascamentos conhecidos é muito variável: entre 95% para as condições melhores, até 65 a 85% para as condições intermediárias e piores (FOELKEL, s.d.).

c) Comprimento da madeira: em função do esforço físico, o serviço manual tem o seu máximo rendimento até um comprimento de 2,5 a 3,0 m por facilidade de manuseio das peças. O descascador portátil anelar teoricamente não possui um limite máximo e sim um limite inferior de 1 m. O tambor de descascamento limita o comprimento das peças em função do seu diâmetro, ou seja, o mesmo tem que ser sempre maior do que o tamanho das toras para permitir a livre movimentação interna e aumentar a frequência de choques.

d) Diâmetro da madeira: quanto ao tambor não existem problemas quanto ao diâmetro máximo, mas deve-se evitar as peças menores devido à ocorrência de quebras e obstrução dos orifícios para saída de casca. O descascador portátil anelar geralmente possui uma faixa de aproveitamento entre 8 e 45 cm.

e) Local de descascamento: campo, fábrica ou pátio intermediário.

f) Disposição da madeira: no caso de descascamento no campo e alimentação do descascador manualmente, a madeira deve estar colocada transversalmente ao deslocamento da máquina (Figura 4). Se a alimentação do descascador for por meio de uma grua, o alinhamento das toras no sentido do eito facilita o trabalho da equipe de corte com motosserras. Por outro lado, a operação de corte e processamento da madeira com “harvester” já resulta na madeira disposta transversalmente.



Figura 4. Operação de descascamento mecanizado no campo.

4. Tipos de descascadores

Os princípios básicos do descascamento são a ação de facas ou dentes cortantes (anelar, rolo dentado e facão) e atrito (tambor rotativo e de caixa). Os principais tipos de descascadores existentes são:

a) Descascador anelar: a casca é retirada da madeira pela ação de facas cortadoras e facas raspadoras (Figura 5), com descascamento individual de cada tora. No caso de se trabalhar com espécies como *Pinus*, de fácil descascamento, pode-se eliminar as facas cortadoras aumentando-se a velocidade de descascamento.

A pressão da faca hidráulica, que permite a regulagem com muito mais sensibilidade, ou centrífuga, devido à aceleração do rotor, com maior aprofundamento na madeira pode causar problemas no caso de madeiras leves. Devem ser tomados os seguintes cuidados na operação:

- entrar a tora do lado de menor diâmetro, evitando-se o retorno da peça e causando uma entrada mais suave, o que evita danos às facas;
- as toras devem estar livres de areia ou terra, que possam danificar o fio de corte;
- toras retas, o máximo possível;
- toras livres de ramos grossos.

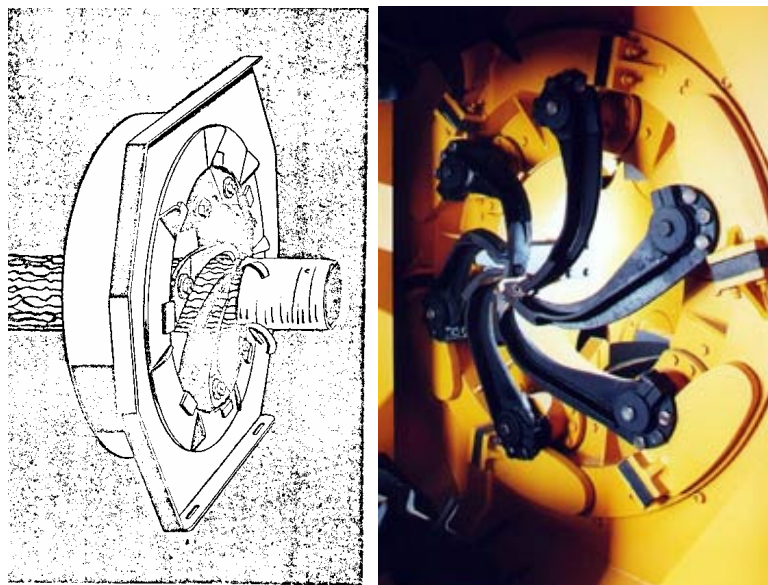


Figura 5. Rotor de descascador anelar com facas cortadoras e raspadoras.

Os rendimentos de descascamento de eucalipto destacados a seguir foram obtidos em uma mesma região florestal:

- Situação A: descascamento de toras de 5,5 m com descascador portátil, alimentado por meio de grua e equipe de 1 tratorista e 1 ajudante para ajuste das toras: **100 st/dia** (10 horas).
- Situação B: descascamento de toras de 2,4 m com descascador portátil, alimentado manualmente e equipe de 1 tratorista e 4 ajudantes para alimentação e disposição das toras descascadas: **150 st/dia** (10 horas).

b) Descascador de rolos dentados: equipamento estacionário onde a casca sai devido ao atrito, sendo descascada cada tora individualmente e com maior diâmetro admissível (Figura 6).

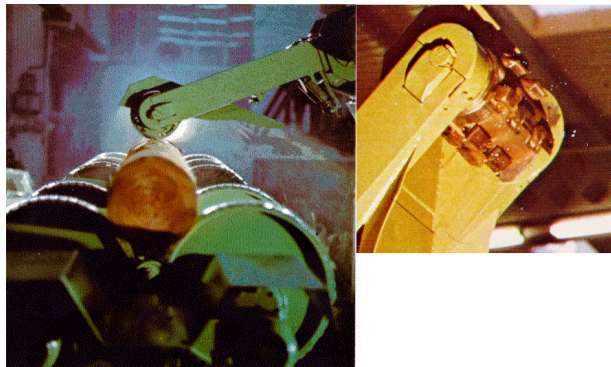


Figura 6. Descascador de rolos dentados “mb Barker and Sorter”.

c) Descascador tipo caixa: esse modelo descasca cargas definidas de madeira através do atrito. A alimentação e saída de madeira são mecânicas e consegue-se um alto rendimento operacional (Figura 7). Possui a vantagem de poder ser acoplado em caminhões, o que possibilita o trabalho em pátios intermediários, contudo não possui alimentação contínua.



Figura 7. Descascador tipo caixa Bruks Mekaniska AB.

d) Descascador de tambor rotativo estacionário: no descascamento por tambor a madeira alimenta continuamente um cilindro rotativo, sendo que a queda e rolamento e o choque das toras faz com que a casca se desprenda. Essa casca é removida durante o processo através de orifícios existentes por toda a superfície do tambor.

O tempo de retenção dentro do tambor varia de 30 a 90 minutos. Em geral, os tambores são bem largos em diâmetro (4 a 8 metros) e longos em comprimento (20 a 40 metros) (Figura 8). Muitas vezes somente a fricção e impactos não suficientes para remoção completa da casca e, por essa razão, uma lavagem se faz necessária após essa etapa de descascamento para tentar remover os pedaços de casca ainda acompanhando as toras. Quando essas fitas de casca seguem para os picadores, elas são também difíceis de serem picadas. Podem embuchar ou saírem ilesas da picagem. O resultado costuma ser uma massa amorfa, rica em finos, que tende a se acumular e entupir as peneiras de classificação dos cavacos. É muito comum a necessidade de uma limpeza manual a cada turno nas peneiras de cavacos, para remover as cascas que entopem as aberturas das peneiras.

As eficiências desses descascamentos variam de 70 a 90%, mas em geral as fábricas as apresentam entre 75 a 85%, no máximo. A água usada na lavagem das toras fica muito rica em DQO (Demanda Química de Oxigênio) e deve-se reciclá-la o mais possível. Atualmente, os descascadores a tambor se movem quase secos, para reduzir o consumo de água, que varia de 0,1 a 1,0 m³ de água por metro cúbico de tora processada. Isso tudo para compensar os volumes a mais de água utilizados na lavagem das toras. Muitas vezes até mesmo efluentes mais limpos e menos perigosos do branqueamento são usados na lavagem das toras. Essa água deve ser reciclada em um circuito o mais fechado possível. Como a madeira se molha, há sempre demanda de água nova para repor as perdas (FOELKEL, s.d.).

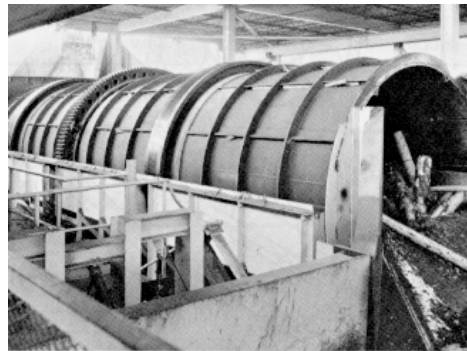


Figura 8. Descascador de tambor (McDONALD e FRANKLIN, 1969).

As perdas de madeira nos tambores são altas e dependem das variações em diâmetro das toras (Figura 9). Quando toras de grande diâmetros são misturadas com toras finas, os danos e as perdas de madeira são inevitáveis. As toras finas se rompem, se fragmentam com muita facilidade, produzindo pedaços de madeira de todos os tipos de formatos e tamanhos. Em virtude da maior demanda por madeira, as fábricas estão recebendo toras de madeiras cada vez mais finas. Anos atrás, o limite mínimo para recebimento de madeira nas fábricas era 10 cm. Depois baixou para 8, depois 6 e agora já se fala e pratica 4 cm. O comprimento das toras também explica muito das perdas de madeira nos tambores. Mais longa as toras, maior a chance de se quebrarem mais toretes e se esfacelarem mais (FOELKEL, s.d.).



Figura 9. Perdas de madeira (Esq.) e fitas de cascas (Dir.) acompanhando toras ao picador (FOELKEL, s.d.)

Tambores descascadores são bons consumidores de energia elétrica (potências de 300 a 1000 kW), em razão do número e tamanho dos motores de acionamento que possuem. As paredes dos tambores são de aço espesso e resistente. Existem tambores suportados e movidos por gigantescos pneus, e outros por engrenagens. O controle do tempo de retenção das toras no tambor se faz por portões que restringem a saída, pela rotação e pelo fluxo de alimentação. As toras



de eucalipto, por serem de descascamento mais difícil que as de Pinus, por exemplo, demandam tempos de retenção 40 a 50% mais longos (tambores maiores como consequência) (FOELKEL, s.d.).

O nível de carga possui influência no percentual de quebras e remoção de casca pelas fendas, sendo que essa influência diminui para madeiras recém-cortadas, com alto teor de umidade e pouca resistência ao descascamento. A madeira, principalmente de eucalipto, com tempo de estocagem superior a 4 semanas, necessita níveis mais altos de carga para obter melhor eficiência (KOLESKI e PRIMAS, 1977). Se houver madeira fina (diâmetro < 8 cm), a mesma deve ser misturada, em pequenas quantidades, com madeira mais grossa para evitar quebras e obstrução dos orifícios de saída de casca. A Tabela 2 apresenta alguns rendimentos de descascamento com tambor.

Tabela 2. Rendimento descascamento por tambor (KOLESKI e PRIMAS, 1977).

Comprimento do tambor (m)	Diâmetro (m)	Velocidade (rpm)	Potência (HP)	Produção/hora (m³ sem casca)
13,5	3,6	6,9	150	10,4
20,4	3,6	6,2	250	20,0
22,5	3,6	6,2	350	26,0
24,0	3,6	5,5	400	32,0

5. Produção de cavacos sem casca no campo

A produção de cavacos no campo, em plantações florestais no Brasil, limitou-se, durante um certo período, ao fornecimento de matéria-prima para obtenção de energia. O aumento da demanda de madeira e questões estratégicas, com relação à reestruturação física dos pátios de recebimento de madeira, em virtude da ampliação da capacidade produtiva de algumas fábricas, tem levado empresas de celulose e papel a considerar a opção de produção de cavacos no campo.

O desenvolvimento, a partir de 1985, de máquinas que desgalmam, descascam e picam a madeira (“chain flail delimeter-debarkers chippers”), tornaram econômica a produção de cavacos a partir de árvores inteiras no campo, agregando valor no caso do fornecimento direto de cavacos para a produção de celulose. No início da década de 90, havia cerca de 100 operações em andamento com este tipo de máquina na América do Norte, com capacidade total de produção de 6 milhões de toneladas de cavaco para polpa por ano (WATSON et al., 1991).

A produção de cavacos no campo é potencialmente mais econômica do que sistemas de toras longas para árvores de menor diâmetro, notadamente na madeira obtida por meio de desbaste (WATSON et al., 1991). Favreau (1992)



comparou o custo total da produção de cavacos para polpa (silvicultura, colheita e transporte), entre um sistema de árvores inteiras com produção de cavacos na fábrica e dois sistemas com produção de cavacos no campo, com diferentes distâncias de transporte, e obteve diferenças variando entre 10 e 27% a favor dos sistemas de produção de cavacos no campo.

Estudo conduzido por Stokes e Watson (1990) indicou que a produção de cavacos no campo possibilita um melhor aproveitamento da biomassa florestal existente acima da superfície. Contudo, é necessário um custo elevado de investimento e ocorre a produção de um único produto: cavaco.

Outro aspecto importante refere-se à qualidade do cavaco. Alterações na forma dos cavacos produzem, como reflexo primário, variações na impregnação dos mesmos pelo licor de cozimento. A principal característica a afetar a impregnação é a dimensão dos cavacos: a impregnação é mais rápida quanto menor o cavaco e menor deve ser o tempo de cozimento. Por outro lado, a produção de cavacos muito pequenos gasta mais energia, gera mais quebras de fibras pela ação mecânica de picagem e pode também ocasionar um super cozimento, com conseqüente degradação de carboidratos.

Raymond e Franklin (1992) compararam dois modelos de descascadores-picadores móveis em termos de produtividade e qualidade dos cavacos produzidos, verificando que, em todas as situações de trabalho testadas, a qualidade dos cavacos produzidos estava dentro dos padrões utilizados pelas empresas de celulose e que houve um ganho de 2,9% de biomassa em relação ao processo realizado nas fábricas. No caso do descascamento, Watson et al. (1990) concluíram que a eficiência do descascamento de coníferas no campo era semelhante ao descascamento feito no pátio da fábrica. Essa eficiência não se repetia no descascamento de espécies folhosas (Figura 10). O descascamento por correntes era mais efetivo em árvores com DAP na classe de 20 a 30 cm do que em classes menores.

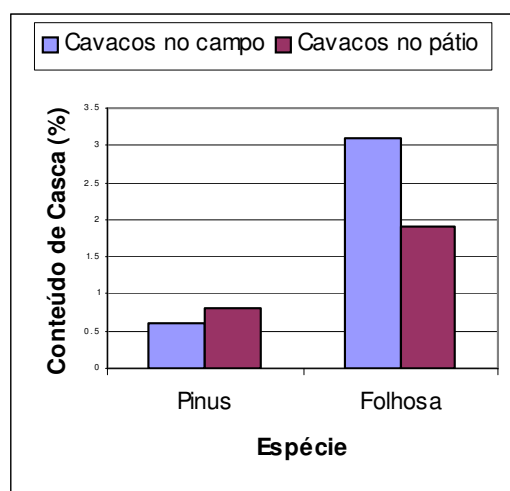


Figura 10. Conteúdo de casca em cavacos, de pinheiros e folhosas, produzidos no campo e no pátio da indústria (WATSON et al., 1990).



Operando com um DDC 5000 (“delimber-debarker-chipper”), Araki (1994) observou que os cavacos produzidos de galhos tinham maior conteúdo de casca porque a ação das correntes era amortecida pelos mesmos, fazendo com que menos casca fosse removida. Também, a obtenção de cavacos de qualidade aceitável a partir do topo da árvore era inferior, porque os topos menores eram pulverizados durante o processo e descartados pela máquina. E ainda, que um maior teor de umidade na madeira diminuía a quantidade de cavacos rejeitados e a quantidade de casca. Ao concluir, o autor recomendava o desgalhamento das árvores anterior à alimentação da máquina.

Um sistema típico de produção de cavacos no campo compreende:

- “feller-buncher” para o corte de árvores;
- “skidder” com garra (“grapple”) para extração das árvores;
- um carregador florestal para alimentar o equipamento de desgalhamento e descascamento (“chain-flail”);
- um picador portátil (“chipper”), para transformação das toras em cavacos;
- e veículos de transporte com caçambas especiais para o transporte de cavacos até a fábrica.

Em um dos poucos exemplos do emprego desse tipo de sistema de colheita no Brasil, o módulo mecanizado é composto por 2 feller bunchers, 2 “clam bunk” skidders e 4 “delimber/debarker/chippers”, produzindo 90.000 m³ de cavacos por mês em povoamentos de eucalipto com 0,27 m³ de volume por árvore (Figura 11). A capacidade operacional do feller buncher Timberjack 608S é de 90 m³/h, do “clam bunk” skidder Timberjack 1710 D de 50 m³/h, em uma distância média de extração de 400 m, e do DDC 5000 G igualmente de 50 m³/h, resultando em 25 minutos para o carregamento de uma carreta de cavacos com 33 t de capacidade de carga (Figura 11). O “clam bunk” tem uma capacidade de carga de 17 t, com capacidade operacional potencial de 80 m³/h, mas transporta em média entre 11 e 12 t por ciclo, equivalentes a 75 árvores, em virtude da necessidade de adaptação à capacidade do sistema de transporte de cavacos.



Figura 11. Módulo mecanizado de produção de cavacos no campo: feller buncher Timberjack 608S, “clam bunk” skidder Timberjack 1710 D, “delimber/debarker/chipper” DDC 5000 G, carreta para transporte de cavacos (sentido horário).

O picador trabalha em “praças” pré-estabelecidas, com cada “praça” abrangendo a produção de cavacos de 10 ha de plantios de eucalipto, com produtividade média de 350 m³ de madeira por hectare. A movimentação concentrada do “clam bunk” na direção do picador provoca um certo impacto no solo, tanto em termos de compactação como de concentração de matéria orgânica (Figura 12). Seixas e Oliveira Jr. (2007) avaliaram a compactação do solo resultante da movimentação do módulo de colheita nesse caso e concluíram que o impacto era maior próximo à superfície do solo, entre 5 e 10 cm de profundidade, com um incremento médio na densidade do solo de 0,27 g cm⁻³ (21,6%).



Figura 12. Camada de matéria orgânica concentrada na superfície do solo próxima ao local de estacionamento do picador.

Após a produção de cavacos, uma grande quantidade de resíduos, constituídos por galhos, folhas e casca, concentra-se ao redor da “praça” onde o picador estaciona e abastece as carretas. Esse material retorna ao campo para reciclagem de nutrientes e incorporação de matéria orgânica (Figura 13).



Figura 13. Concentração de resíduos (galhos, folhas e cascas) após a produção de cavacos e posterior distribuição dos mesmos no talhão.

5.1. Exemplo canadense

Em caráter ilustrativo, destaca-se a seguir o exemplo de uma empresa de celulose e papel canadense trabalhando em sistema de desbaste em floresta nativa. A floresta em questão situava-se em região acidentada, com o corte seletivo das árvores sendo feito por intermédio de motosserras e posteriormente arrastadas por “clam bunk skidder” (Figura 14).



Figura 14. “Clam bunk skidder” marca Timberjack.

Nesta área estavam sendo cortados entre 30 a 35% do volume total de madeira, sendo que por volta de 8 a 10% das árvores remanescentes sofriam algum tipo de dano. As árvores inteiras eram trazidas até à margem do carreador e a produção

de cavacos era feita por um Delimber Debarker Chipper DDC 5000, fabricado pela Peterson Pacific Corporation em 1992 (Figura 15). Esta máquina conta com um motor de 800 hp e dois rotores internos (“flail”) equipados com 70 correntes cada um e tinha um custo de aquisição por volta de US\$800,000.



Figura 15. Árvores empilhadas (Esq.) e alimentação do DDC 5000 (Dir.).

O primeiro rotor é fixo e o segundo móvel, adaptando-se ao diâmetro da árvore (Figura 16). As correntes realizam o desgalhamento e o descascamento, sendo trocadas a cada 10 a 12 cargas completas de um caminhão.

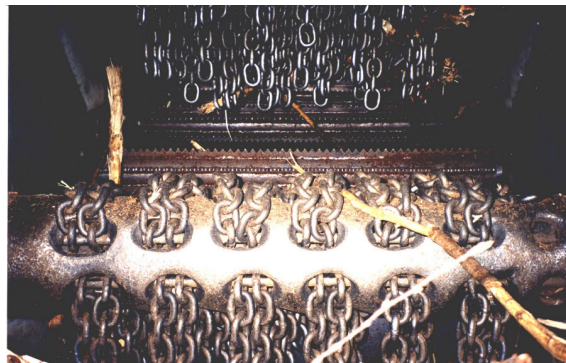


Figura 16. Vista interna do DDC 5000 com os dois rotores em destaque.

A carga de um caminhão era ao redor de 40 m³ de cavacos, ou 19 toneladas métricas base seca, sendo completada em 30 minutos. A equipe trabalhava em turnos de 12 horas / dia, durante cinco dias por semana. A cada 6 a 8 carregamentos as facas eram retiradas para uma nova afiação e ajuste de profundidade (Figura 17).

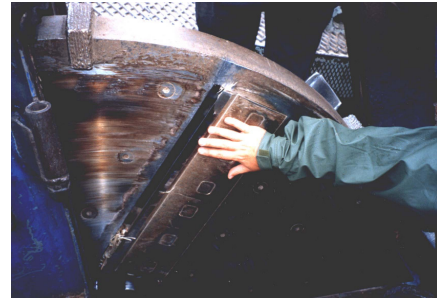


Figura 17. Processo de troca de facas (Esq.) e disco com facas (Dir.).

Um problema causado por este sistema de colheita refere-se ao acúmulo de material residual ao lado dos carregadores (Figura 18). Devido ao baixo custo não existiam possibilidades do seu aproveitamento para energia e, a princípio, não se justificava o retorno do material para dentro da floresta. Alguns estudos avaliaram o uso do skidder com garra, que também é indicado para o arraste de árvores neste sistema, no transporte do material residual para dentro da floresta, quando do retorno do trator para extrair mais madeira (DESROCHERS, 2000).



Figura 18. Material residual acumulado ao lado do carregador.

A indústria recebe madeira na forma de cavacos e de toras, estas limitadas a um diâmetro máximo de 61 cm. A porcentagem de casca aceita pela fábrica é menor do que 0,5%, contando com um tambor de descascamento no pátio com 5 m de diâmetro, 30 m de comprimento e 200 m³ de volume. O cavaco produzido no campo é trazido em contêineres especiais e o descarregamento é feito por intermédio de plataformas móveis. O próprio motorista é responsável pela elevação da plataforma, descarregando a carga em esteiras por onde irão entrar no processo industrial de produção de celulose (Figuras 19).



Figura 19. Contêiner de cavacos sobre plataforma (Esq.) e elevação da plataforma e descarregamento dos cavacos (Dir.).

5.2. Transporte de cavacos

O principal problema encontrado no transporte de cavacos é a utilização da capacidade de carga do veículo. A densidade do material é baixa, exigindo veículos de transporte com maior capacidade volumétrica para atingir o peso máximo legalmente permitido (Figura 20). Os fatores de influência na densidade podem ser a distribuição do tamanho dos cavacos, o método de carregamento no veículo e a vibração aplicada ou que ocorra durante o transporte.

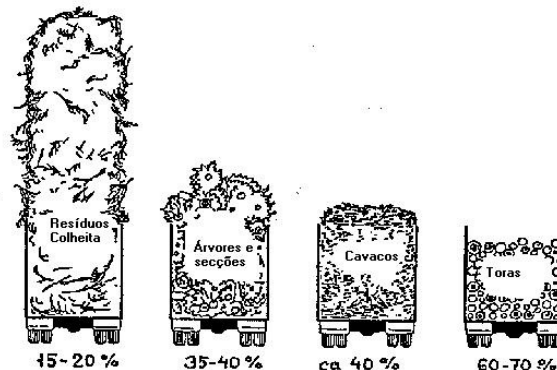


Figura 20. Fatores de volume sólido para diversos produtos florestais (Bjorheden, 1990; apud HANKIN e MITCHELL, s.d.).

A maior diversidade de tamanhos permite um melhor preenchimento dos espaços vazios e maior conteúdo de sólidos. Uma distribuição mais uniforme deixará mais espaço entre os cavacos. A compactação forçada não é muito eficiente, por se tratar de material “elástico”, recomendando-se um método de carregamento onde os cavacos sejam projetados por ventiladores. A vibração transmitida pelo pavimento será efetiva até 20 km, sugerindo-se carregar o veículo acima do seu limite volumétrico, para posterior acomodação (HANKIN e MITCHELL, s.d.).

A produção de cavacos no campo exigiu também o desenvolvimento de reboques que suportassem as condições adversas do transporte fora-de-estrada e maximizassem a capacidade de carga, contemplando os limites legais de peso por eixo. Williams e Markham (1991) descreveram um modelo de composição que atingiu o PBTC de 62.700 kg (Figura 21), permitindo, de acordo com as leis da província de Ontário (Canadá), uma carga de cavacos de 38.400 kg. Um transdutor de pressão era conectado à suspensão de ar de cada conjunto de eixos, com um sinal luminoso programado para avisar quando o conjunto de eixos atingisse a carga máxima legal.

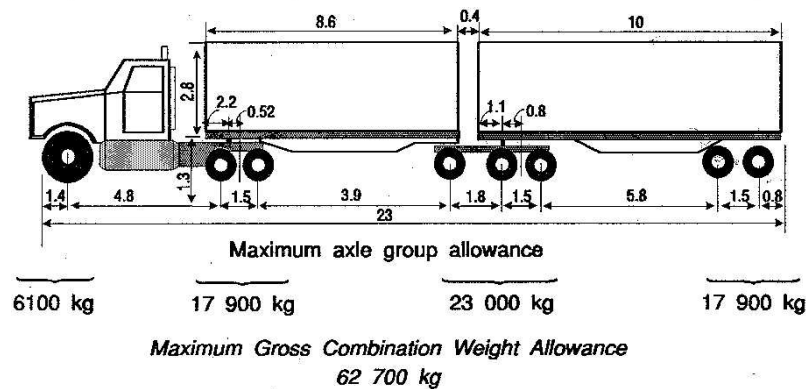


Figura 21. Dimensões (metros) e autorização de carga por eixo em composição rodoviária para transporte de cavacos (WILLIAMS e MARKHAM, 1991).

Outra opção para o transporte de cavacos em distâncias mais longas pode ser o modo ferroviário. O transporte de madeira por ferrovias sempre foi questionado, entre outros motivos, em virtude da falta de flexibilidade e confiança, assim como os atrasos freqüentes na entrega. O sistema ECORAIL é uma opção que procura combinar o transporte rodoviário de cavacos com o ferroviário, indicado para distâncias entre 300 e 1000 km. Este sistema comporta quatro componentes: uma unidade de controle (Figura 22), motores (1 para cada 6 carretas), vagões e carretas para cavacos (Figura 23). Uma das suas vantagens é a independência do transporte ferroviário tradicional, além de possíveis economias no custo do transporte, na manutenção de estradas, no aumento da segurança nas estradas rodoviárias, pela diminuição do tráfego, menor poluição e menor consumo de pneus (PROVENCHER, 1997).



Figura 22. Unidade de controle aguardando conexão (PROVENCHER, 1997).

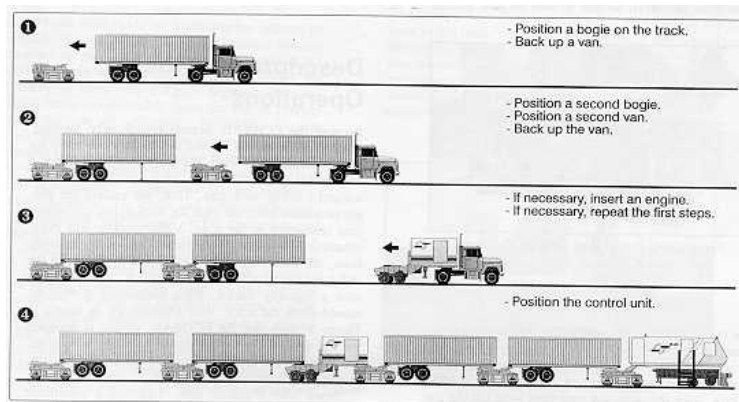


Figura 23. Etapas da montagem de um trem Ecorail (PROVENCHER, 1997).

Finalmente, o custo de investimento em um sistema completo de produção de cavacos no campo pode ser limitante quanto à adoção dessa opção. Watson et al. (1991) realizaram um estudo comparativo entre a produção de cavacos no campo e no pátio da indústria, em situações de colheita em sistema de desbaste ou corte raso. Concluíram que o cavaco produzido no campo somente podia ser economicamente competitivo, comparando-se com o cavaco produzido no pátio da fábrica, em situações de desbaste de árvores de menor porte (Tabela 3).



Tabela 3. Custo estimado (US\$) de produção de cavacos até à pilha em um pátio com operações de campo a 60 km de distância (Watson et al., 1991).

Operação	Toras Longas		Cavacos no Campo	
	Desbaste	Corte Raso	Desbaste	Corte Raso
Colheita	9.92 ¹	5.79 ¹	13.33 ²	9.57 ²
Custo transporte (Toneladas/viagem)	4.90 ¹ (23,07)	5.32 ¹ (21,24)	5.04 ² (23,47)	5.04 ² (23,47)
Custo no pátio	14.82 ¹	11.11 ¹	18.37 ²	14.61 ²
Produção de cavacos limpos	80%	90%	100%	100%
Custo equivalente de cavacos	18.53 ²	12.34 ²	18.37 ²	14.61 ²
Custo de conversão em cavacos no pátio	2.56 ²	2.56 ²	--	--
Depositar e manusear cavacos no pátio	--	--	0.55 ²	0.55 ²
Crédito de madeira p/ energia	2.50 ²	1.10 ²	--	--
Custo total de cavacos na pilha	18.59 ²	13.80 ²	18.92 ²	15.16 ²

¹ Por tonelada (madeira e casca); ² Por tonelada de cavacos.

6. Bibliografia

- ARAKI, D. Observations of the Peterson Pacific DDC 5000 log delimeter-debarker-chipper. **FERIC Technical Note: TN-214**, 8 p. 1994.
- BUSNARDO, C.A.; FOELKEL, C.E.B. Casca dos eucaliptos tropicais: quantidade e qualidade em árvores jovens. CENIBRA, Belo Oriente, n. 76, 1978. 5 p.
- BUSNARDO, C.A.; GONZAGA, J.V.; MENOCELLI, S.; BENITES, E.P.; DIAS, C.; FOELKEL, C.E.B. Umidade ao abate da madeira e da casca de Eucalyptus grandis (sic). **Silvicultura**, v.8, n. 28, p. 749-753, 1982.
- DESROCHERS, L. Treating delimeter-debarker-chipper residues in Northwestern Ontario. **FERIC**, v. 1, n. 28, 2000. 6 p.
- FAVREAU, J. In-woods chipping: a comparative cost analysis. **FERIC Technical Report**, No.105, p.1-16, dez. 1992.
- FOELKEL, C. **Casca da árvore do eucalipto**: Aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel. S.d.



- Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf.
Acessado em: 27/11/2007.
- HANKIN, C.; MITCHELL, C.P. Wood biomass transportation systems. IEA/BA T9/A6, Report No. 2, s.d. 31 p.
- KOLESKI, L.; PRIMAS, F. Descascamento a seco de eucalipto em tambores rotativos. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 10, São Paulo, 1977. Trabalhos Técnicos. São Paulo, 1977. p.35-9.
- McDONALD, R.C.; FRANKLIN, J.N. The pulping of wood. 2ª ed. New York, McGraw-Hill, 1969. v.1.
- MIRANDA, G.M.; SILVA, M.L.; MACHADO, C.C.; LEITE, H.G. Contribuição da casca na composição do custo de transporte da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, v.26, n.2, p.145-8, mar./abr. 2002a.
- MIRANDA, G.M.; SILVA, M.L.; LEITE, H.G.; MACHADO, C.C. Estimativa do custo de reposição dos nutrientes exportados pela colheita da casca da madeira em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, v.26, n.2, p.149-54, mar./abr. 2002b.
- PROVENCHER, Y. The Ecorail system for transporting chip vans by rail. **FERIC Technical Note TN-253**, 1997. 8 p.
- RAYMOND, K.A.; FRANKLIN, G.S. Chain flail delimeter-debarkers in eastern Canada: a preliminary assessment. **FERIC Technical Note: Wood Harvesting 153**, 8 p. 1992.
- SEIXAS, F.; McDONALD, T.P.; STOKES, B.J.; RAPER, R.L. Effect of slash on forwarder soil compaction. In: **Proceedings of the 1995 COFE Annual Meeting**. COFE, Cashiers, NC, p: 77-86, 1995.
- SEIXAS, F.; BAUCH, S.C.; OLIVEIRA Jr., E.D. Balanço energético e econômico de duas alternativas de descascamento de madeira de eucalipto. **SCIENTIA FORESTALIS**, n. 67, p.37-43, abr. 2005.
- SEIXAS, F.; OLIVEIRA Jr., E.D. Soil compaction as a result of in-woods chipping. In: **Proceedings of the 3rd Forest Engineering Conference**. Feric, Mont-Tremblant, Quebec, Canada, 5 p., 2007. Disponível em: <http://www.feric.ca/index.cfm?objectid=9D89028D-BC8C-A58C-9CFCBD334D266708>.
Acessado em: 29/11/2007.
- SILVA, C.F. Casca de *Eucalyptus globulus*: polpação versus queima. In: 3º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, São Paulo, 1983. **Anais**. São Paulo: ATBCP, v.3, 1983. p. 855-863.
- STOKES, B.J.; WATSON, W.F. Wood recovery with in-woods flailing and chipping. **Tappi Proceedings, Pulping Conference**, p. 851-854, 1990.
- VITAL, A.R.T. Efeito do corte raso no balanço hídrico e na ciclagem de nutrientes em uma microbacia reflorestada com eucalipto. Dissertação de Mestrado, ESALQ, Piracicaba, 1996. 106 p.



WATSON, W.F.; TWADDLE, A. A.; STOKES, B.J. Quality of chips produced with chain flais and in-woods chippers. **Tappi Proceedings, Pulping Conference**, p. 855-860, 1990.

WATSON, W.F.; FLANDERS, L.N.; DUBOIS, M.R.; STOKES, B.J.; STRAKA, T.J.; HOTTINGER, G.J. Cost comparison at the woodyard chip pile of clean woodland chips and chips produced in the woodyard from roundwood. TAPPI Proceedings, p.183-189, 1991.

WILLIAMS, W.; MARKHAM, R. On/off-highway B-train chip van. FERIC Field Note No.: Loading & Trucking-23, 1991. 2 p.

WRONSKI, E.B. Logging trials near Tumut. **Logger**, April/May: 10-14. 1990.



CAPÍTULO IX. DETERMINAÇÃO DO CUSTO OPERACIONAL DE MÁQUINAS

1. Introdução

O objetivo de desenvolver o custo operacional de uma máquina florestal é o de se estabelecer uma estimativa que represente o mais próximo possível as condições de trabalho encontradas e o sistema financeiro em vigor. A maior parte dos fabricantes de equipamentos fornece dados que servem de base para os cálculos iniciais, que devem, contudo, ser modificados de acordo com as situações específicas de cada aplicação.

2. Classificação dos custos

O custo de máquinas é geralmente, mas nem sempre, dividido em custos fixos, custos variáveis e custos de mão-de-obra:

- **Custos fixos:** são aqueles que podem ser pré-determinados como acumulados com a passagem do tempo, ao invés de com a proporção de trabalho. Eles não param quando o trabalho pára e devem ser distribuídos pelas horas de trabalho durante o ano. Incluem: depreciação, juros, taxas, armazenamento e seguro.
- **Custos variáveis:** variam diretamente com a proporção de trabalho. Incluem os custos de combustíveis, lubrificantes, pneus, manutenção de equipamentos e reparos.
- **Custos de mão-de-obra:** são os custos associados com a mão-de-obra empregada e incluem o salário, cestas básicas, transporte e encargos sociais.

3. Definições

- **Preço de Aquisição (V):** é definido como o custo atual de compra incluindo acessórios padrões, acessórios opcionais, taxas e frete. Preço na fábrica ou entregue ao consumidor (frete, acondicionamento e seguro). Alguns acessórios especiais podem ter um custo separado, se a sua vida útil diferir do equipamento principal e for uma parte importante do custo do equipamento.



- **Vida econômica (N):** é o período no qual o equipamento pode trabalhar com custos operacionais e produtividade aceitáveis (Tabela 1). A vida econômica é geralmente medida em termos de anos, horas, ou no caso de caminhões e reboques, km. Função: deterioração física, obsolescência tecnológica e mudança de condições econômicas (preço de combustível, taxas de juros, taxas de incentivo ao investimento etc.).
- **Valor Residual (R):** o preço pelo qual o equipamento pode ser vendido quando do seu descarte.

Tabela 1. Estimativas de vida econômica para skidder de pneus (Sessions, 1987).

Situação A	Situação B	Situação C
Arraste intermitente em distâncias curtas, sem empilhamento. Boas condições de terreno: plano, solo seco, poucos tocos.	Curvas contínuas, arraste freqüente em distâncias médias e empilhamento moderado. Boas condições de terreno: solo seco com poucos tocos e terreno levemente ondulado	Curvas contínuas, arraste freqüente em distâncias longas com muito empilhamento. Condições de terreno desfavoráveis: solo úmido, declivoso e vários tocos.
12.000 h	10.000 h	8.000 h

4. Custos fixos

4.1. Depreciação

Ativo fixo: aqueles bens cuja duração em uso é superior a um ano e que se destinam à utilização nas operações da empresa e não à venda: máquinas, edifícios, terrenos, móveis etc.

Depreciação: uma parcela de valor imputada ao custo de produção, correspondente ao desgaste sofrido durante a utilização do ativo fixo no processo produtivo.

A carga de depreciação alocada ao custo e recuperada na venda do produto, não será exigida senão a longo prazo, para a substituição do ativo fixo, quando isto se fizer necessário (Reserva de capital). Esta reserva financeira obtida pela contabilização da depreciação, pode funcionar como uma fonte mais barata de recursos para o financiamento das operações.



Método linear de depreciação

Também chamado de depreciação em linha reta, o valor depreciável é obtido subtraindo-se do custo original do ativo o seu valor residual e dividindo pela vida útil estimada.

$$D = \frac{V - R}{N} \quad (1)$$

Onde:

D – cota anual de depreciação

V – custo de aquisição do produto

R – valor residual do produto

N – vida útil esperada do ativo (anos)

Taxa anual de depreciação: $T = 100 / N$ - Permitido pela lei brasileira:

- 10% para móveis e utensílios;
- 10% para maquinaria e acessórios industriais;
- 20% para veículos;
- 4% para edifícios e construções.

Estas taxas são válidas para turnos de 8 horas. Quando se opera em dois ou três turnos elas podem ser multiplicadas por 1,5 ou 2,0 respectivamente.

Método exponencial

A capacidade de contribuição de um dado ativo para a geração de renda é maior nos anos iniciais de sua vida útil e decresce com o uso, chegando às vezes, ao final de sua vida, a ser utilizado apenas como equipamento de reserva para eventualidades. O método exponencial proporciona a incidência de uma carga anual de depreciação decrescente à medida que a utilidade do ativo se reduz. O valor contábil do bem pode ser determinado para um ano genérico n :

$$C_n = V(1 - T)^n \quad (2)$$

Onde:

V – custo de aquisição do produto

T - Taxa anual de depreciação



De acordo com esta fórmula, o valor contábil, e consequentemente o valor depreciado ao longo da vida útil considerada, independe do valor residual, tornando necessária a aceitação de um valor residual igual ao valor contábil calculado para o último ano de vida do ativo ou a realização de um ajuste no valor depreciado no último ano, a fim de que o valor residual reflita exatamente o previsto.

Método da soma dos dígitos

Este método também proporciona uma carga anual decrescente.

$$d_n = \frac{2[N - (n - 1)]}{N(N + 1)} \times (V - R) \quad (3)$$

Onde:

N – número de anos de vida útil;

V – custo de aquisição do produto

R – valor residual do produto

n – número de anos decorridos.

Este método apresenta, em relação ao exponencial, a vantagem de poder ser expresso como uma função do valor residual, permitindo que a carga anual de depreciação seja calculada de modo a se ter exatamente o valor residual desejado ao final da vida útil estimada.

Depreciação por produção

Associa a carga anual de depreciação ao número de unidades produzidas anualmente pelo ativo. É adequado quando a depreciação do bem se encontra estreitamente vinculada ao desgaste físico produzido pela utilização. Utiliza-se uma taxa de depreciação, obtida dividindo-se o valor depreciável pelo número de unidades de produção prevista durante a vida do ativo, a qual se aplica a cada ano sobre o número de unidades produzidas. Ex.: quilometragem de um caminhão (Oliveira, 1982).



4.2. Juros

Juro é o custo de se utilizar o dinheiro por um certo período de tempo. Se o dinheiro para a compra do equipamento foi emprestado, utiliza-se a taxa da financeira para o empréstimo. Sendo dinheiro próprio, a taxa que poderia ser obtida em uma aplicação no mercado financeiro. Fórmulas:

$$Ju = \frac{IMA \times i}{hf} \quad (4)$$

$$IMA = \frac{V(N+1) + R(N-1)}{2 \times N} \quad (5)$$

Onde:

Ju = juros por hora efetiva de trabalho

IMA = investimento médio anual

i = taxa anual de juros simples

hf = horas efetivas do trabalho por ano. Período de tempo correspondente a uma hora em que a máquina realiza, sem interrupções, um trabalho produtivo.

$$hf = \frac{Nd \times d \times Nt(100 - TD)}{100} \quad (6)$$

Onde:

Nd = número de dias úteis no ano.

d = duração do turno de trabalho (horas)

Nt = número de turnos

TD = tolerância para demoras em (%)

Ou a fórmula alternativa:

$$Ju = \frac{V \times i \times f}{hf} \quad (7)$$

Onde:

f = fator de correção de 0,6 para máquinas florestais



4.3. Seguro

Seguro feito contra riscos de incêndios e acidentes.

$$S = \frac{V \times P}{hf} \quad (8)$$

Onde:

S = valor do seguro por hora efetiva de trabalho

V – custo de aquisição do produto

P = porcentagem expressa na forma decimal (0,05 a 0,10)

hf = horas efetivas do trabalho por ano

4.4. Impostos

Impostos anuais relacionados com a propriedade da máquina.

$$I = \frac{Ia}{hf} \quad (9)$$

Onde:

I = valor dos impostos por hora efetiva

Ia = impostos anuais

hf = horas efetivas do trabalho por ano

5. Custos variáveis

5.1. Combustível

O consumo de combustível para um equipamento depende da potência do motor, do fator de carga, condições do equipamento, hábitos do operador, condições ambientais e o projeto do equipamento. Caso seja necessário se estimar o consumo, pode-se utilizar a seguinte fórmula:



$$Cb = \frac{K \times PB \times Fc}{KPL} \quad (10)$$

Onde:

C_b = consumo combustível / hora de funcionamento do motor (l/hf)

K = consumo de combustível por HP de potência bruta, por hora efetiva (kg/HP/hf)

F_c = fator de carga

PB = potência bruta do motor (HP)

KPL = peso do combustível (kg/l)

Tabela 2. Pesos, taxas de consumo de combustível e fatores de carga para motores diesel e gasolina (Sessions, 1987).

Motor	Peso (KPL) Kg/l	Consumo Combustível (K) Kg/HP/hf	Fator de Carga (F_c)		
			Baixo	Médio	Alto
Gasolina	0.72	0.21	0.38	0.54	0.70
Diesel	0.84	0.17	0.38	0.54	0.70

Caso seja fornecida a potência líquida (PL) da máquina, considerar:

$$PB = PL / 0,9 \quad (11)$$

O custo de combustível (CC_b) será: $CC_b = C_b \times p$ onde:

p = preço do litro de combustível.

5.2. Lubrificantes

O custo de lubrificantes (óleo lubrificante, óleo hidráulico e graxa) varia com a potência do motor e com a complexidade do sistema hidráulico. Para máquinas com sistema hidráulico relativamente simples, como trator de esteiras, caminhões, "skidders", carregadeiras frontais e motoniveladoras, pode ser utilizada a fórmula seguinte:



$$Cl = CCb \times 0,20 \quad (12)$$

Onde:

Cl = custo de lubrificante por hora efetiva

Máquinas com sistema hidráulico de alta pressão e relativamente complexo, como “feller-bunchers” e carregadeiras hidráulicas:

$$Cl = CCb \times 0,30 \quad (13)$$

Máquinas como processadores, “fellers” com braço mecânico e forwarders:

$$Cl = CCb \times 0,50 \quad (14)$$

5.3. Consertos e manutenção

Este custo consiste na mão-de-obra, inclusive obrigações sociais, materiais e peças de reposição. Sugerem-se as seguintes alternativas para o seu cálculo:

$$Co = \frac{V}{H} \quad (15)$$

onde:

Co = consertos e manutenção por hora efetiva de trabalho

V = valor de aquisição do equipamento

H = vida útil em hf.

Para os caminhões, o custo de conserto deve ser calculado, com base na vida útil, em horas de viagem pela fórmula:

$$Co = \frac{V}{N \times hv} \quad (16)$$

Onde:

N = vida útil em anos

Hv = horas de viagem por ano



$$hv = hf \left(1 - \frac{TE}{TV + TE}\right) \quad (17)$$

Onde:

TE = tempo de espera (hf)

TV = tempo de viagem (hf)

O custo de manutenção pode ser estimado também como uma porcentagem do custo horário de depreciação:

$$Co = D \times G \quad (18)$$

Onde:

D = depreciação por hora efetiva

G = coeficiente de conserto

Tabela 3. Coeficiente de conserto e manutenção em porcentagem da depreciação horária para alguns equipamentos (Sessions, 1987).

Máquina	Coeficiente (%)
Trator de esteiras	100
Trator agrícola	100
“Skidder” de pneus com guincho	50
“Skidder” de pneus com garra	60
Carregador com grua hidráulica	50
Motosserra	100
“Feller-buncher”	50

5.4. Custo de pneus para caminhões e reboques

O custo de pneus originais, geralmente, faz parte do valor de aquisição do caminhão. Portanto, o custo de pneus inclui reparos e recauchutagem dos pneus originais e o custo de reparos, recauchutagem e substituição de jogos completos, durante a vida útil do caminhão.



$$C_p = \frac{B}{N \cdot hv} + \frac{(C_t + B)(N \cdot hv - L)}{L \cdot N \cdot hv} \quad (19)$$

Onde:

C_p = custo de pneus por hora de viagem dos caminhões

B = custo de consertos. Correspondente a 50% do custo de substituição do jogo (0,50 C_t)

C_t = custo de substituição do jogo de pneus

N = vida útil do caminhão (anos)

hv = horas de viagem por ano

L = vida útil dos pneus em horas de viagem

$N \cdot hv$ = vida útil do caminhão, em horas de viagem, correspondente ao H de uma fórmula anterior de consertos e manutenção

Custo de reparos e recauchutagem dos pneus originais = $\frac{B}{N \cdot hv}$

Custo de substituição do jogo de pneus, expresso em relação à vida útil em horas efetivas de viagem = $\frac{C_t + B}{N \cdot hv}$

Número de jogos de pneus consumidos durante vida útil do caminhão = $\frac{N \cdot hv - L}{L}$

Em termos médios tem-se:

- Vida útil do caminhão em horas efetivas de viagem = 10.000 hf
- Vida útil dos pneus igual a 2.000 horas efetivas de viagem.
- Custo de reparos e recauchutagem dos pneus equivalentes a 50% do custo dos pneus originais.
- Cerca de 4 novos jogos de pneus serão necessários, durante a vida útil do caminhão, estando incluída uma recauchutagem.

Substituindo-se estes valores na fórmula anterior, tem-se a seguinte equação simplificada:

$$C_p = 0,0006 \times C_t \quad (20)$$



6. Custo de mão-de-obra

O custo de mão-de-obra, além de incluir os salários diretos dos trabalhadores, inclui também o custo indireto das obrigações sociais. Esses custos sociais são expressos em porcentagem do custo direto da mão-de-obra.

$$CMD = \frac{12 \cdot Sm (1 + f)}{hf} \quad (21)$$

Onde:

CMD = custo de mão-de-obra por hora efetiva.

Sm = salário mensal.

f = custos sociais expressos em % do custo de mão-de-obra.

hf = horas efetivas de trabalho por ano.

7. Custo de administração

São os custos indiretos relacionados com a administração do trabalho e com o equipamento. Corresponde aos custos de pessoal como: gerentes, diretores, supervisores, chefes, secretários etc. esse custo é geralmente estimado como um percentual variando entre **10 a 15%** do custo total do equipamento.

8. Bibliografia

MACHADO, C.C.; SOUZA, A.P. Exploração florestal. Viçosa, Imprensa Universitária - UFV. 1981. 1 vol.

OLIVEIRA, J.A.N. Engenharia Econômica: uma abordagem às decisões de investimento. São Paulo, McGraw-Hill, 1982. 173 p.

SESSIONS, J. Cost control in logging and road construction. In: FAO – Appropriate wood harvesting in plantation forests. FAO Forestry Paper 78, Rome, 1987. P. 95-134.



CAPÍTULO X. TRANSPORTE PRINCIPAL DE MADEIRA

1. Introdução

No início da década de 80, Simões et al. (1981) afirmavam que o principal modo de transporte de madeira no setor florestal brasileiro era o rodoviário, com poucas empresas utilizando-se do modo ferroviário. Machado (1984) comentava também que o transporte florestal principal era praticamente representado pelo caminhão. Essa situação pouco se alterou no passado recente, mantendo-se a predominância do transporte rodoviário, com algumas empresas transportando parte da sua madeira por ferrovias e o transporte fluvial mais restrito à região Amazônica. Essa predominância justifica-se principalmente pela proximidade entre plantios e as indústrias e as limitações das outras opções de transporte.

Além dessa dependência, a importância do transporte por caminhões é marcante principalmente pela participação na composição do custo final da madeira posto fábrica. No caso particular de algumas empresas de celulose e papel e de chapas no Estado de São Paulo, o custo do transporte de madeira de florestas implantadas variava entre 38 e 66% do custo final de aquisição da madeira, posto fábrica, obtido para distâncias médias entre 45 e 240 km, respectivamente (CHAMPION, 1983; DURAFLOA, 1984; SALMERON, s.d.). Martini e Leite (1988) citam valores entre 40 a 50%, enquanto que Hakkila et al. (1992) comentam que o custo do transporte de madeira no Brasil era de aproximadamente 44%. A Tabela 1 ilustra exemplos da composição de custos no Brasil e Finlândia. Mais recentemente, Ribeiro (1998) reporta o índice de 30%, obtido em uma empresa de celulose e papel.

Em virtude das suas características em termos de especificidade de carga e exclusividade do frete, o transporte florestal possibilita ao caminhão viajar carregado somente em um sentido, o que faz com que os custos tendam a ser maiores por unidade de volume do que em outros setores dos transportes. A utilização de carretas de múltiplos usos, que podem transportar mais de um tipo de produto (ex. cavacos e toras) pode implicar em redução significativa de custos sob certas condições (Figura 1).

Tabela 1. Composição do custo posto fábrica da madeira para celulose no Brasil e Finlândia.

Operação	Brasil (US\$/m³)	Finlândia (US\$/m³)
Corte	3.04	7.54
Extração	2.71	4.72
Transporte (90 km)	5.59	7.40
Estradas	0.51	-
Planejamento e Supervisão	-	0.57
Outros Custos	0.70	-
Total	12.55	20.23

Fonte: Adaptado de Hakkila et al. (1992).

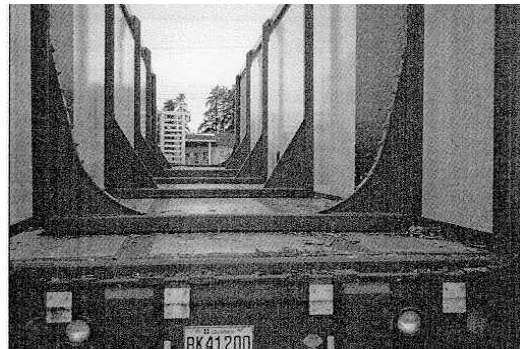


Figura 1. Carreta de usos múltiplos Temisko: capacidades de volumes de 109 m³ para cavacos e 79 m³ para toras (MICHAELSEN, 1996).

As classes de veículos, de acordo com o Peso Bruto Total (PBT) são:

- a) Caminhões leves até 10 t;
- b) Caminhões médios de 11 a 20 t;
- c) Caminhões semi-pesados de 21 a 29 t; e
- d) Caminhões pesados de 30 a 45 t.

Ao envolver longas distâncias e o tráfego em estradas de terra e asfalto, o transporte principal de madeira exige o emprego de caminhões pesados (PBT entre 30 e 45 t). Grande parte das empresas florestais que possuem frota própria ou desenvolvem estudos para tanto, acabam optando por um caminhão com maior capacidade de carga, ressaltando-se as limitações quanto à qualidade do pavimento e a capacidade de alicive de cada veículo (SEIXAS, 1992). A questão



das distâncias mais longas é exemplificada pelo transporte feito em empresas associadas da Bracelpa (Associação Brasileira de Celulose e Papel), onde praticamente a metade do volume de madeira de eucalipto foi transportada por distâncias superiores a 100 km no ano de 1999 (Tabela 2).

Tabela 2. Volume de madeira transportada das florestas e depósitos para as fábricas de celulose e papel, no ano de 1999, segundo a distância percorrida (em tonelada seca com casca) (BRACELPA, 2000).

Distância (km)	Gênero			
	Eucalipto	Participação (%)	Pinus	Participação (%)
Até 100	8.445.631	51	5.452.204	93
101-200	3.944.874	24	223.411	4
201-300	3.731.330	23	172.135	3
301-400	324.386	2	9	-
Total	16.446.221	100	5.847.759	100

Na seleção do veículo é considerado igualmente o investimento inicial total por frota, custos de operação, reposição e manutenção, desempenho, vida útil etc., assim como os custos fixos e variáveis, devendo a decisão basear-se principalmente no custo por tonelada ou m³ de madeira transportada. A Tabela 3 apresenta uma média de gastos por itens que integram a composição de custos de caminhões dos tipos leve, médio e pesado. Destacam-se os gastos com combustível e pneus.

Tabela 3. Fatores que compõem o custo de transporte, com respectivas influências (%) em veículos que rodam 8.000 km/mês.

Fator	Tipo de Caminhão		
	Leve	Médio	Pesado
Depreciação	14%	17%	14%
Salários	15%	9%	7%
Pneus	18%	23%	24%
Manutenção	6%	8%	8%
Combustível	34%	28%	30%
Outros	13%	15%	17%



2. A escolha do modal

O transporte é o principal componente do sistema logístico. Sua importância pode ser medida através de pelo menos três indicadores financeiros: custos, faturamento e lucro. O transporte representa, em média, 60% dos custos logísticos, 3,5% do faturamento e, em alguns casos, mais que o dobro do lucro. Além disso, o transporte tem um papel preponderante na qualidade dos serviços logísticos, pois impacta diretamente o tempo de entrega, a confiabilidade e a segurança dos produtos (FLEURY, 2004). A sua importância na economia brasileira é refletida nos dados da Tabela 4.

Tabela 4. Participação do setor de transportes na economia brasileira (COPPEAD/CNT, s.d.).

Valor adicionado pelo setor de transportes no PIB (%)	4,4%
Valor adicionado pelo setor de transportes no PIB (R\$)	R\$ 42 bilhões
Empregos diretos gerados	1,2 milhão
Total de carga movimentada por ano (em TKU)*	746 bilhões

*TKU = tonelada quilômetro útil

São basicamente cinco os modais de transporte de cargas: rodoviário, ferroviário, aquaviário, dutoviário e aéreo. Cada um possui suas características e custos próprios, sendo que, em geral, quanto maior o desempenho em serviços, maior tende a ser o custo do mesmo. A Tabela 5 apresenta os preços médios cobrados pelos diferentes modais nos Estados Unidos e no Brasil, para cargas fechadas de médias e longas distâncias, ou seja, superiores a 500 quilômetros.

Tabela 5. Preços relativos dos diferentes modais (US\$ / 1000 t-km) nos EUA e Brasil (FLEURY, 2004).

Transporte	EUA (US\$)	Brasil (US\$)	Brasil / EUA
Aéreo	320	523	1,63
Rodoviário	56	19	0,33
Ferrovário	14	11	0,79
Dutoviário	9	11	1,22
Aquaviário	5	7	1,40



No Brasil, os preços relativos dos diferentes modais possuem a mesma ordenação encontrada nos EUA, ou seja, aéreo, rodoviário, ferroviário, dutoviário e aquaviário. No entanto, a ordem de grandeza das diferenças entre eles é significativamente diferente, principalmente quando se considera o transporte rodoviário. Enquanto nos EUA o preço do rodoviário é 4,0 vezes superior ao do ferroviário, no Brasil esta diferença é de apenas 1,7 vez, e o preço do frete é quase um terço do praticado lá fora. Conclui-se assim que o preço do rodoviário está exageradamente baixo, o que faz com que haja uma grande preferência pelo mesmo no país.

Outros fatores condicionantes da escolha de um modal são: velocidade, consistência, capacitação, disponibilidade e frequência (Tabela 6). O modal aéreo é o mais veloz, mas, considerando-se o tempo gasto porta a porta, essa vantagem só ocorre para distâncias médias e grandes. Já os tempos do rodoviário e ferroviário dependem fundamental do estado de conservação das vias e do nível de congestionamento. A consistência, que representa a capacidade de cumprir os tempos previstos, tem o duto como a melhor opção, por não depender de fatores climáticos, seguido pelo rodoviário, ferroviário, aquaviário e aéreo.

Tabela 6. Comparação dos modais em termos das dimensões de serviço em ordem crescente (FLEURY, 2004).

		Velocidade			
⇒	Duto	Aquav.	Ferro	Rodo	Aéreo
		Consistência			
	Aéreo	Aquav.	Ferro	Rodo	Duto
		Capacitação			
	Duto	Aéreo	Rodo	Ferro	Aquav.
		Disponibilidade e			
	Duto	Aquav.	Aéreo	Ferro	Rodo
		Frequência			
	Aquav.	Aéreo	Ferro	Rodo	Duto

A capacitação está relacionada à possibilidade de um determinado modal trabalhar com diferentes volumes e variedades de produtos, com destaque para o modal aquaviário nesse quesito. A disponibilidade representa a grande vantagem do modal rodoviário, que quase não tem limites de onde pode chegar. Teoricamente, o segundo em disponibilidade é o ferroviário, mas isto depende da extensão da malha ferroviária em um determinado país, com apenas 29 mil quilômetros em nosso país, concentrados nas regiões Sul e Sudeste. O modal aquaviário, embora ofereça potencial de alta disponibilidade devido à nossa costa



de oito mil quilômetros e cinquenta mil quilômetros de rios navegáveis, apresenta, de fato, uma baixa disponibilidade função da escassez de infra-estrutura portuária, de terminais e de sinalização.

Quanto à frequência, ou seja, o número de vezes em que o modal pode ser utilizado em um dado horizonte de tempo, o duto é o que apresenta o melhor desempenho, por trabalhar 24 horas por dia, 7 dias por semana. Seguem, pela ordem, o rodoviário, ferroviário, aéreo e hidroviário. A baixa frequência do hidroviário resulta dos grandes volumes envolvidos na operação, o que o obriga a trabalhar com carga consolidada, diminuindo dessa maneira a frequência.

Como consequência dos fatores citados anteriormente, bem como da interação com diversos outros, um país ou região contará com diferentes graus de utilização de cada modal. A Tabela 7 destaca a matriz de transporte de cargas por modal nos EUA e Brasil.

Tabela 7. Matriz de transporte de cargas: Brasil versus EUA (TKU) (FLEURY, 2004).

Transporte	Brasil	EUA
Rodoviário	61%	26%
Ferrovário	20%	38%
Aquaviário	13%	16%
Dutoviário	5%	20%
Aeroviário	<1%	<1%

Verifica-se, pelos dados da Tabela 7, uma utilização exagerada do modal rodoviário no Brasil, comparativamente aos EUA (61% versus 26%). Este forte predomínio do rodoviário deriva do baixo preço praticado, função de várias distorções do sistema de transportes brasileiro. O setor rodoviário de cargas no Brasil se caracteriza por uma alta fragmentação e excesso de oferta, resultado da inexistência de regulação, que torna as barreiras de entrada praticamente nulas. Estes fatos levam a práticas de concorrência predatória, que faz com que os preços sejam inferiores ao custo real, sendo essa uma das principais explicações para a elevada participação no mercado.

Essa dependência exagerada é motivo de preocupação por pelo menos duas razões: o rodoviário é o segundo menos eficiente de todos os modais, atrás apenas do aéreo, tanto em termos de consumo de energia, quanto de poluição e segurança; a falta de regulação e os baixos preços vêm comprometendo a rentabilidade do setor, que depende cada vez mais dos autônomos, cuja idade média da frota alcança os 18 anos.

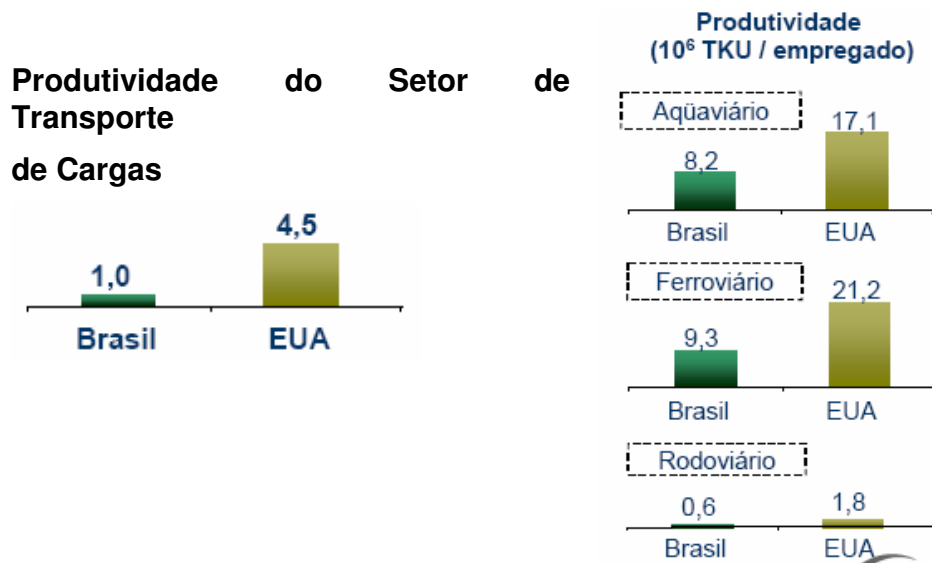


Figura 2. Produtividade do setor de transporte de cargas (TKU = toneladas quilômetro útil).

A produtividade do transporte de cargas no Brasil também apresenta um baixo desempenho quando comparado com outros setores da economia. O gráfico da Figura 3 mostra como diversos setores da economia brasileira se comparam com seus pares nos Estados Unidos, em termos de produtividade de mão-de-obra. Para efeito de comparações, a produtividade norte-americana em cada um dos setores estudados foi estipulada como 100%.

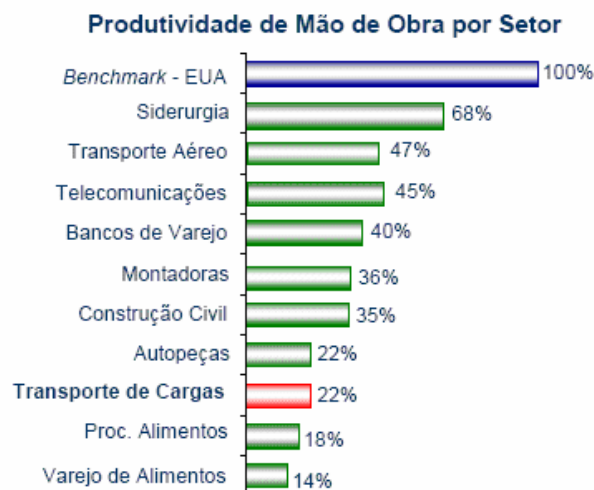


Figura 3. Produtividade de mão-de-obra em setores da economia brasileira em comparação com a norte-americana (COPPEAD/CNT, s.d.).



2.1. Infra-estrutura de transporte (COPPEAD/CNT)

A infra-estrutura de transporte disponível no Brasil é significativamente menor do que aquela existente em diversos países em desenvolvimento e de grandes extensões territoriais. O gráfico da Figura 4 ilustra a oferta de infra-estrutura para os diversos modais de transporte de carga de acordo com um índice conhecido como densidade de infra-estrutura. Este índice é calculado a partir do número de quilômetros de infra-estrutura disponível por cada km^2 da área do país. Percebe-se neste gráfico uma menor disponibilidade de infra-estrutura de transporte no Brasil, sobretudo no modal ferroviário. A disponibilidade do modal hidroviário não é aproveitada em toda a sua plenitude por causa da localização dos rios navegáveis e da necessidade de se intervir para melhoria da navegabilidade em diversos trechos. A infra-estrutura de transporte norte-americana é de 447 km por cada 1000 km^2 , significativamente maior do que todos os países aqui apresentados.

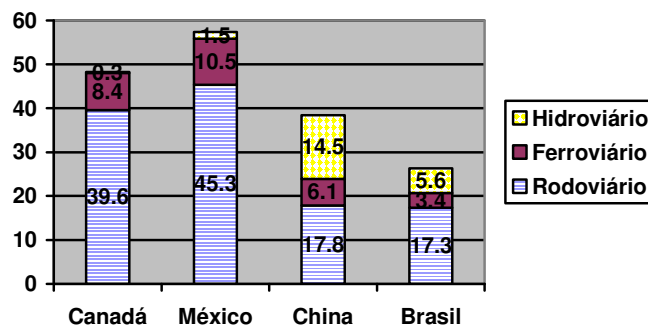


Figura 4. Densidade de transporte ($\text{km} / 1000 \text{ km}^2$)

Conforme se percebe no gráfico anterior, a disponibilidade de rodovias pavimentadas no Brasil é ainda pequena. Em 1999 eram cerca de 164,2 mil km pavimentados, sobre um total de 1,725 milhão de km de rodovia. Soma-se a este fato a baixa qualidade da infra-estrutura existente, cujo estado de conservação é avaliado como péssimo, ruim ou deficiente em 78% de sua extensão. Essa deficiência reflete-se no número de mortes por quilômetro nas estradas brasileiras, entre 10 e 70 vezes maior do que nos países pertencentes ao G-7 (Figura 5). Este problema fica ainda mais evidenciado quando se verifica que os acidentes de trânsito no Brasil são o segundo maior problema de saúde pública no país, só perdendo para a desnutrição.

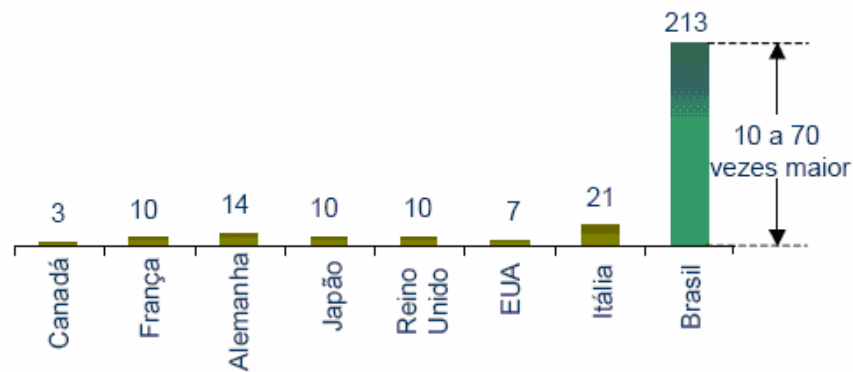


Figura 5. Índice de mortes nas estradas (1996) por 1.000 km de rodovia.

O sistema ferroviário brasileiro possui uma baixa disponibilidade, limitando o crescimento de sua participação na matriz de transportes. O quadro na Figura 6 compara a disponibilidade de infra-estrutura no transporte ferroviário brasileiro e norte-americano. A partir deste quadro fica clara a necessidade de aumento da nossa malha ferroviária para que se ambicione uma melhor participação deste Modal em nossa matriz de transportes.

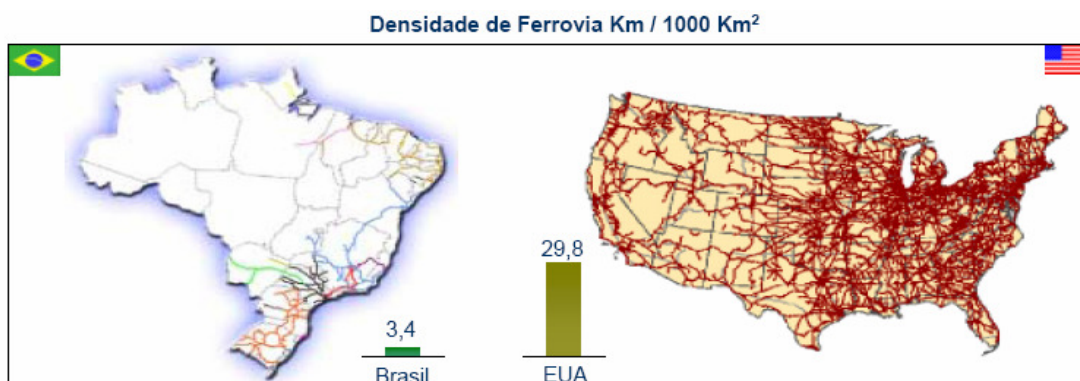


Figura 6. Densidade da malha ferroviária (km / 1000 km²) no Brasil e EUA.

A situação de insegurança nas estradas brasileiras, apresentada na Figura 5, piorou de 1995 a 1998. A tímida redução nos números de acidentes no período de 1997 a 1998 (ver gráfico Figura 7) pode ser atribuída à introdução do Código Nacional de Trânsito. Quando comparamos a evolução do número de acidentes no Brasil com a dos Estados Unidos, verificamos que a distância entre os dois países vêm crescendo ano a ano. Enquanto no ano de 1995 o Brasil apresentava 144% de acidentes a mais do que os Estados Unidos, no ano de 1998 este número já havia crescido para 226%.

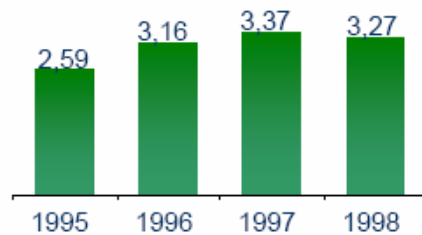


Figura 7. Número de acidentes por km de rodovia.

Outro problema de segurança refere-se ao roubo de cargas que vem crescendo mais acentuadamente nos últimos anos. Os gráficos na Figura 8 dão uma pequena noção da dimensão do problema. Neles identifica-se o crescimento do número de ocorrências anuais e o prejuízo em milhões relacionados ao roubo de cargas seguradas. Considerando-se que existem alguns tipos de produtos, para os quais as seguradoras não aceitam fazer seguro, pode-se concluir que o prejuízo sofrido pelo setor é ainda maior.

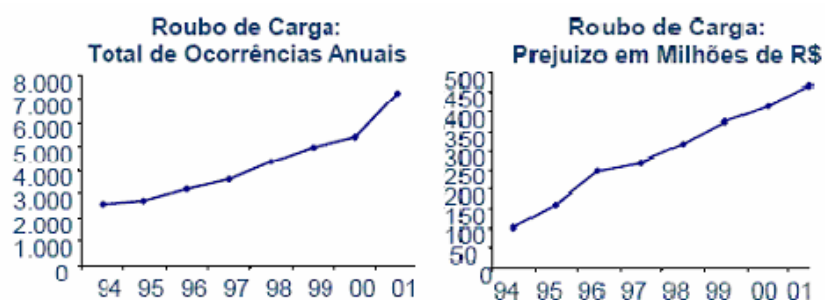
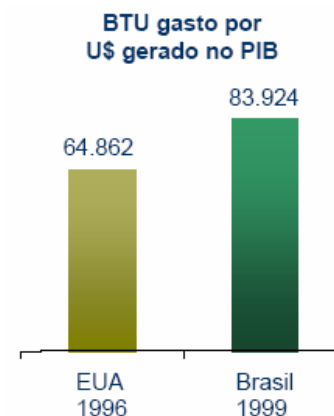


Figura 8. Estatísticas de roubo de cargas.

2.2. Consumo energético

O grau de aproveitamento de nossas fontes não-renováveis de energia no transporte de cargas e passageiros pode ser verificado a partir do número de BTU's (*British Thermal Unit*) gastos pelo setor para cada dólar gerado no PIB do país. Uma comparação do índice de aproveitamento energético (BTU por US\$ gerado no PIB), brasileiro e americano é apresentada no gráfico ao lado. O índice de aproveitamento energético brasileiro é cerca de 29% pior do que o norte-americano. É interessante perceber que este consumo ineficiente de energia não-renovável traz uma série





de malefícios para o País: maior emissão de poluentes, maior custo final para os produtos, maior dependência externa de combustíveis, pior desempenho na balança comercial etc.

Os principais poluentes relacionados com a combustão de veículos são os óxidos de nitrogênio (NOx) e o monóxido de carbono (CO). O NOx tem como principais efeitos afetar o sistema respiratório e causar chuvas ácidas. Já o CO tem como principal efeito a redução na capacidade de transporte de oxigênio no sangue causando dores de cabeça, perda de reflexos e até a morte. Na ausência de dados confiáveis para o nível de emissão de poluentes no setor de transporte de carga brasileiro foi feita uma estimativa, calculando-se os índices a partir de coeficiente padrão do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), que apresenta uma correlação padrão entre consumo de combustível e de emissão de poluentes (Figura 9). A tendência é que os valores reais de emissão no Brasil sejam ainda maiores, por causa da utilização de enxofre no diesel, o baixo nível de manutenção e alta idade da frota brasileira de transporte rodoviário.

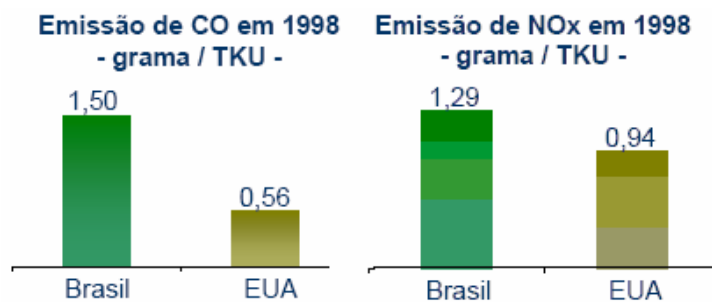


Figura 9. Emissão de poluentes no setor de transportes.

3. Principais fatores afetando a eficiência do transporte de cargas no Brasil

As principais causas que afetam a eficiência no transporte de cargas brasileiro foram mapeadas e segmentadas em quatro grandes grupos: o desbalanceamento da matriz de transportes; a legislação e fiscalização inadequadas; a deficiência da infra-estrutura de apoio e a insegurança nas vias.

O gráfico na Figura 10 indica a participação relativa, no transporte de cargas, dos Modais Rodoviário, Ferroviário e Aqüaviário em diversos países do mundo. Uma primeira constatação é que todos os países de grande extensão territorial, com exceção do Brasil, localizam-se à direita e na parte inferior do gráfico. Isto significa que estes países usam muito o Modal Ferroviário e, comparativamente, pouco o Modal Rodoviário. Outra constatação é a de que os países de pequena extensão territorial estão localizados à esquerda e na parte superior do gráfico. Isto demonstra uma opção prioritária pelo Modal Rodoviário, em detrimento de outros Modais. É surpreendente verificar a posição do Brasil, ao lado de países de baixa



extensão territorial, indicando uma priorização do Modal Rodoviário, menos eficiente.

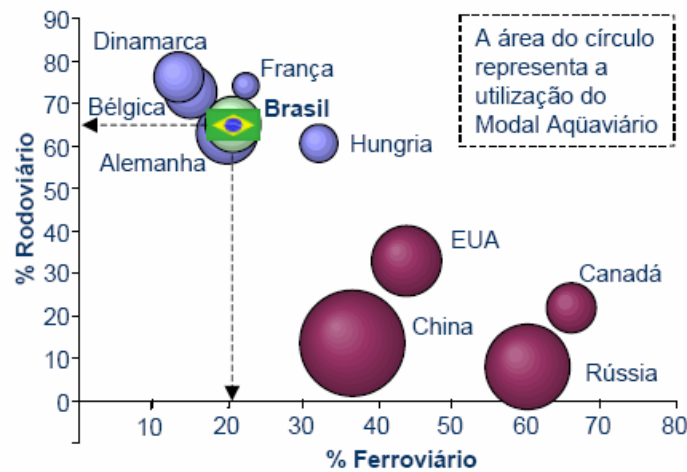
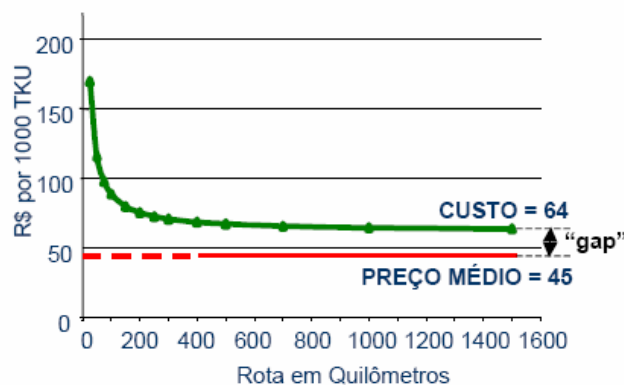


Figura 10. Participação dos modais no Mundo - Tonelada x quilômetro útil.

Um dos motivos para essa realidade é o baixo preço dos fretes rodoviários. A Figura 11 representa o que se chama de baixo preço dos fretes rodoviários, comparando-se os custos padrão com o transporte e a remuneração deste transporte para cargas fechadas em longas distâncias. De maneira conservadora, não foram considerados na curva de custo apresentada, a depreciação do veículo nem o custo de oportunidade do capital investido no caminhão. A diferença entre custo e preço médio, identificada como *gap* no gráfico a seguir, apresenta o que pode ser entendido como uma margem operacional média negativa. As principais alternativas do transportador rodoviário de carga para lidar com este *gap* entre custo e preço são: redução da manutenção do veículo, jornada excessiva de trabalho, carregamento acima do peso máximo, inadimplência fiscal, entre outros.



Premissas : Ociosidade de 40%; Retirada Autônomo de 5 sal. mínimos; Trabalho de 189hs / mês; 2hs de carregamento e 3hs de descarregamento.

Figura 11. Valor do frete rodoviário (R\$ / Ton*Km)

O gráfico da Figura 12 mostra um modelo denominado Circulo Vicioso do Transporte Rodoviário de Cargas, que demonstra a existência de uma concorrência predatória neste setor. Neste modelo considera-se que:

- Existem poucas barreiras de entrada para se tornar transportador autônomo (apenas ter carteira de habilitação e possuir um caminhão).
- Existem barreiras de saída para deixar de ser transportador autônomo: difícil colocação no mercado de trabalho devido aos poucos anos de educação formal e formação técnica.

As barreiras anteriores geram excesso de oferta e práticas danosas como baixa renovação e manutenção da frota, transporte acima do peso máximo permitido e jornadas excessivas de trabalho. Estas práticas operacionais danosas realimentam o aumento de oferta e as práticas predatórias, criando externalidades indesejáveis. Os principais impactos da concorrência predatória são: alto índice de acidentes e mortes; emissão excessiva de poluentes; engarrafamentos e consumo excessivo de combustível.

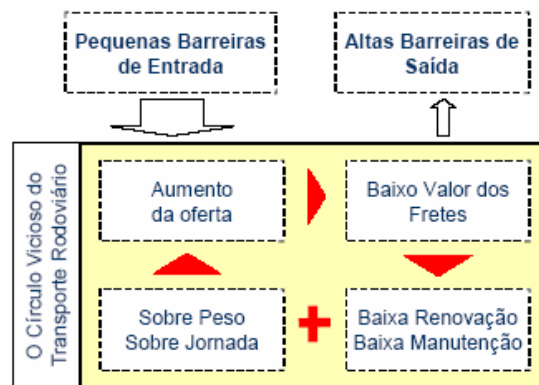


Figura 12. O círculo vicioso do transporte rodoviário de cargas.

Na ausência de uma regulamentação que visa retirar caminhões inseguros e poluentes da estrada, surge uma situação de envelhecimento da frota de veículos de transporte rodoviário de cargas que possui idade média de aproximadamente 17,5 anos e 76% dos veículos com mais de dez anos. Com o envelhecimento da frota, surge, no curto prazo, uma redução no valor dos fretes rodoviários. No médio e longo prazo esta situação torna-se insustentável, pois sem renovação a frota perde sua capacidade de transportar adequadamente. A Figura 13 mostra uma projeção de qual seria a idade média da frota brasileira caso fossem mantidas as taxas de renovação da frota dos últimos cinco anos.

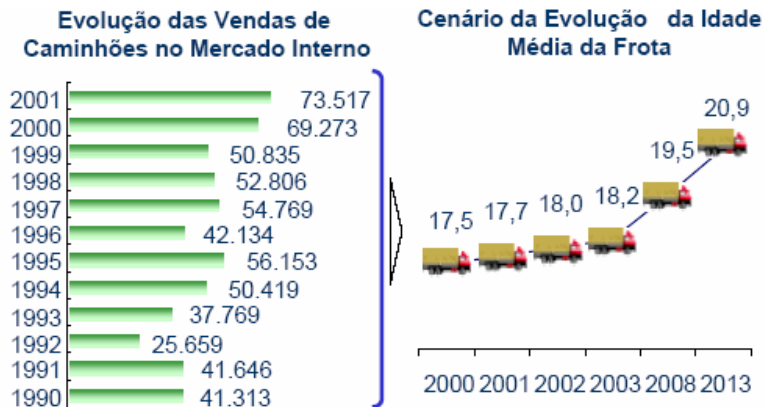


Figura 13. Projeção da idade média da frota brasileira de caminhões.

Uma outra causa do baixo preço do frete rodoviário é o pequeno investimento em manutenção dos veículos. Estimativas atuais de custos de manutenção envolvendo peças, mão-de-obra, pneus e óleo sugerem que os custos médios para manutenção de um caminhão sejam da ordem de R\$ 0,23 por km rodado. Estudo da **CNT** (Confederação Nacional do Transporte) indica que os gastos médios com manutenção dos motoristas autônomos estão na faixa de R\$ 0,16 por km rodado, ou seja, cerca de 70% daquele considerado adequado (Figura 14). A questão é ainda mais grave se considerarmos que caminhões com mais de 25 anos, que necessitam de mais manutenção, tendem a gastar ainda menos do que R\$ 0,16 por km rodado.

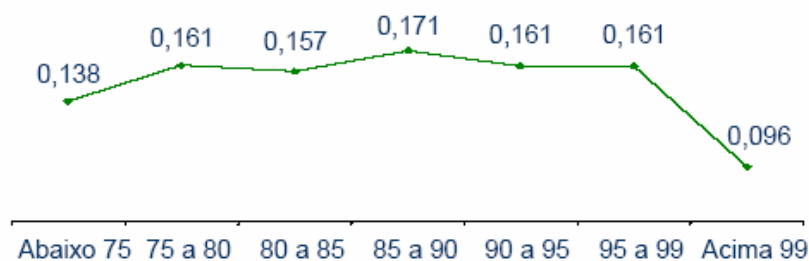


Figura 14. Média de gastos com manutenção em R\$/km (por faixa de ano de fabricação).

Tem-se também a ausência ou inoperância de postos de pesagem, a deficiente alocação de recursos para fiscalização do excesso de peso e a prática em alguns mercados de emissão de dois conhecimentos de transporte, um com o peso real e outro com o peso da balança, implicam na dificuldade de se coibir este tipo de infração. O transporte rodoviário de carga é, portanto, penalizado duplamente: primeiro com o aumento da capacidade estática da frota pressionando os fretes para baixo; segundo com a rápida degradação das rodovias, aumentando os custos com manutenção. O quadro a seguir (Figura 15) detalha algumas ações para reverter a situação do transporte rodoviário, aprimorando-o em virtude da sua atual importância no cenário nacional.

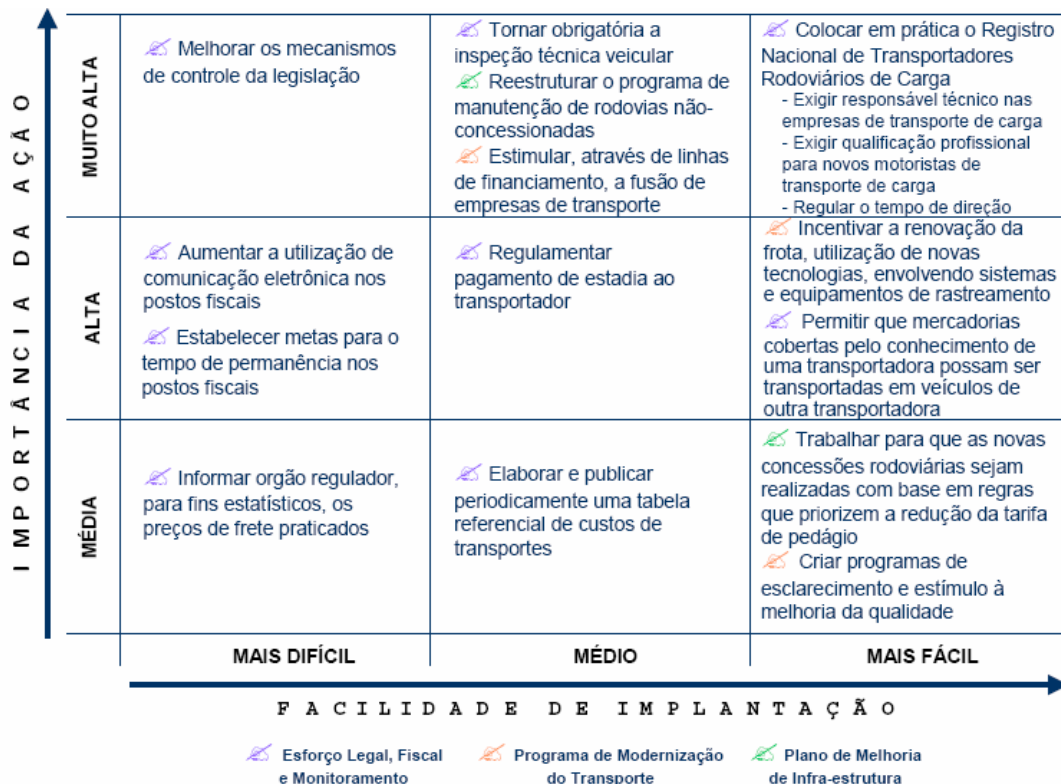


Figura 15. Priorização de ações propostas para a melhoria do transporte rodoviário.

4. Veículos utilizados no transporte de madeira e a “Lei da Balança”

Entre diversos outros fatores, o custo da operação de transporte é dependente da distância, da existência de frete de retorno, das condições da rede viária e da construção e manutenção de estradas, da eficiência das operações de carga e descarga, incluindo aqui os tempos de espera, da quantidade de carga transportada por composição veicular, do pagamento de pedágios, combustível etc. Em virtude da privatização de algumas rodovias, notadamente no Estado de São Paulo, o número de pedágios aumentou significativamente, assim como a fiscalização quanto à observância da “Lei da Balança”, pela preocupação das concessionárias quanto à conservação das estradas sob sua administração. Portanto, número de eixos na composição e o peso em cada eixo são fatores hoje de preocupação para o transportador, sempre buscando a otimização da quantidade de madeira transportada por veículo, sem, contudo, ultrapassar os limites estabelecidos na legislação.

Na AMCEL (Amapá Celulose) o transporte principal foi planejado para trabalhar com toras longas. O equipamento era uma composição do tipo “rodotrem”, composta de um cavalo mecânico, um semi-reboque e um reboque (Figura 16). O comprimento do conjunto era de 30 m e a capacidade de aproximadamente 100 st

(50 t). A distância média de transporte era de 100 km e cada ciclo de transporte era completado em menos de 8 horas (FERNANDES e TIBURCIO, 1987).



Figura 16. Veículo “rodotrem” utilizado no transporte de madeira.






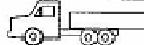




Operando no Estado de São Paulo, e já se preocupando com a observância dos limites da “Lei da Balança”, a Duratex Florestal S/A (1987) abandonou a utilização da composição “biminhão” (caminhão pesado 6x4 mais reboque de 2 eixos), vulgarmente chamada de “Romeu e Julieta”, passando a utilizar caminhões 4x2 e semi-reboque de 3 eixos. Os parâmetros referenciais de utilização de mão-de-obra e consumo energético foram reduzidos, com a mudança do sistema, de 9 homens.dia / 100 st e 2,53 L de diesel / st para 7 homens.dia / 100 st e 2,27 L de diesel / st.

Moreira (1987) descreveu a utilização do “treminhão”, caminhão pesado (6x4) mais dois reboques, em distâncias curtas de até 30 km. Diversos problemas internos em termos da qualidade de estradas, alta porcentagem de aclives acentuados e baixa velocidade das operações de carga e descarga, fizeram com que os resultados econômicos desse sistema não fossem satisfatórios. Contudo, a utilização do “treminhão” otimizou o fluxo de madeira na Klabin (Paraná), o qual era feito, em grande parte, em rede viária própria, garantindo o abastecimento da fábrica e tornando-se uma opção estratégica da empresa. Mais recentemente, Vieira (2004) descreve a utilização, por parte da Cenibra S.A., da composição “biminhão” (caminhão mais reboque), responsável pelo transporte de madeira em curta distância e com boa capacidade de transporte, e de veículos “rodotrem”, com alta capacidade de carga, menor capacidade de tração em rampas e mais apropriado para o transporte a longa distância.

A chamada “Lei da Balança”, parte do Código Nacional de Trânsito, foi elaborada na década de 60 e posta em prática a partir de 1974, sendo um conjunto de artigos do referido código que influem nas limitações de dimensões e de peso para os veículos de carga e passageiros de fabricação nacional (SCANIA, 1997). O Peso Bruto Total (PBT) do caminhão, ou o Peso Bruto Total Combinado (PBTC) da composição veicular, não pode ultrapassar a Capacidade Máxima de Tração

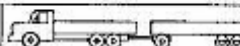
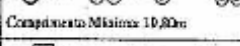
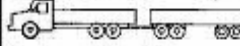

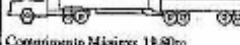
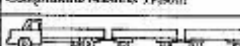
(CMT) estabelecida de 4,2 kW/t (5,71 cv/t), restringindo-se ainda ao limite máximo de 45 t (**alteração para 57 t em 12/2004**). A Figura 17 ilustra os pesos máximos para os tipos de veículos utilizados no transporte florestal rodoviário.

Peso máximo para veículos articulados

Cavalo-mecânico 4x2 Eixos em tandem		6t+10t+10t PBTC = 26t
		6t+10t+17t PBTC = 33t
		6t+20t+25,5t PBTC = 41,5t
Cavalo-mecânico 4x2 Distância entre eixos maior que 2,40m		6t+30t+(10t+10t) PBTC = 36t
		6t+10t+(10t+10t+10t) PBTC = 46t (com AET)
Cavalo-mecânico 6x4 Eixos em tandem (balanço ou bogie)		6t+17t+10t PBTC = 33t
		6t+17t+17t PBTC = 40t
		6t+17t+25,5t PBTC = 48,5t (com AET)
Cavalo-mecânico fixo Distância entre eixos maior que 2,40m		6t+17t+(10t+10t) PBTC = 43t
		6t+17t+(10t+10t+10t) PBTC = 53t (com AET)

Obs.: eixos dos semi-reboques com rodados duplos.

Combinação de Veículos de Carga

Bitrimão	 Comprimento Máximo: 19,80m	6t+17t+(10t+17t) PBTC = 50t
Bitrimão	 Comprimento Máximo: 19,80m	6t+17t+(17t+17t) PBTC = 57t
Bitrimão Articulado	 Comprimento Máximo: 19,80m	6t+17t+(17t+17t) PBTC = 57t
Treminhão	 Comprimento Máximo: 30,00m	6t+17t+(16t+16t+10t+10t) PBTC = 63t
Tritrens	 Comprimento Máximo: 30,00m	6t+17t+17t+17t+17t PBTC = 74t
Rodotrens	 Comprimento Máximo: 30,00m	6t+17t+17t+17t+17t PBTC = 74t

Obs.: eixos dos semi-reboques e reboques com rodados duplos.

Figura 17. Tipos de veículos articulados e respectivos PBTC (MACHADO et al., 2000)

De acordo com a Resolução 68/98, as combinações de veículos de carga (CVC), com mais de duas unidades, incluindo a unidade tratora (ex.: rodotrens, treminhões e tritrens) ou duas articulações (ex.: bitrens), somente poderão circular portando uma Autorização Especial de Trânsito (AET). Estas combinações não poderão possuir PBTC superior a 74 toneladas, respeitando-se a CMT, ter comprimento máximo de 30 m e limitar-se ao peso máximo estabelecido por eixo (MACHADO et al., 2000).

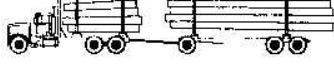
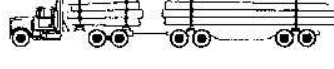

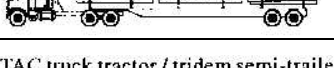
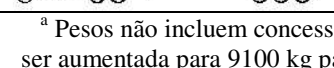
Na Finlândia, a combinação normalmente utilizada para o transporte de madeira é um caminhão 6x4 mais um reboque com quatro eixos. Quase todos os veículos possuem um carregador “destacável” e diversos transportadores utilizam uma balança acoplada ao carregador, procurando assim garantir maior precisão na carga total e distribuição de peso por eixo. Algumas empresas exigem equipamento de bordo para transmissão sem fio de dados. Este equipamento normalmente inclui um computador com GPS integrado e telefone com um modem. Mapas e softwares são fornecidos gratuitamente aos transportadores. As dimensões e pesos em geral são as seguintes:

- Comprimento: é permitido até 25,25 m, mas a medida usual é 22,00 m.
- Altura: 4,20 m.
- Largura: 2,60 m.

- PBTC: 60 t.
- Tara do veículo sem o carregador: 18-19 t.
- Peso da carga: 41-42 t de madeira.
- Volume: aproximadamente 50 m³.
- Peso máximo por um eixo: 10 t (Vakeva, J. Comunicação pessoal, 2001).

Outros exemplos de combinações de veículos para transporte de madeira, encontrados na Província da Colúmbia Britânica, no Canadá, são descritos na Tabela 8. O PBTC máximo, incluindo algumas concessões feitas, nunca deve ultrapassar 63.500 kg (WEBB, 1998).

Tabela 8. Configurações de veículos típicos da Colúmbia Britânica (adaptado de WEBB, 1998).

Configuração	PBTC Max. ^a (kg)	Carga Máx. ^a / Grupo de Eixos ^b (kg)	Tara / Capacidade Líquida Máx. (kg)
TAC truck / TAC three axle full trailer 	50100	Direção: 9100 Tração: 17000 Simples: 9100 Tandem: 17000	16650 / 33450
TAC truck / TAC four axle full trailer 	57100	Direção: 9100 Tração: 17000 Tandem: 17000 Tandem: 17000	17950 / 39150
TAC 8-axle B-train 	63500	Direção: 5500 ^c Tração: 17000 Tridem: 24000 Tandem: 17000	19000 / 44500
TAC truck-tractor / tandem semi-trailer 	39500	Direção: 5500 ^c Tração: 17000 SR: 17000	15700 / 23800
TAC truck tractor / tridem semi-trailer 	46500	Direção: 5500 ^c Tração: 17000 SR ^d : 24000	16500 / 30000

^a Pesos não incluem concessões. ^b Algumas restrições são descritas na referência. ^c A carga pode ser aumentada para 9100 kg para configurações equipadas com carregador. ^d Semi-reboque.

O aumento do número de eixos em uma composição rodoviária com o intuito de aumentar a capacidade de carga promove também uma limitação na capacidade de tração do veículo. Uma solução estudada por Amlin et al. (1995) foi a de transformar eixos de tração em “tandem” em “tridem”. Um “tridem” é definido como um grupo de três eixos igualmente espaçados e suportando a mesma carga (Figura 18). Como resultado, o caminhão com conjunto de eixos em “tridem” teve

maior força de tração que a versão em “tandem”, com aumentos variando de 28 a 55% dependendo dos pesos por eixo e do número de diferenciais bloqueados (Tabela 9).

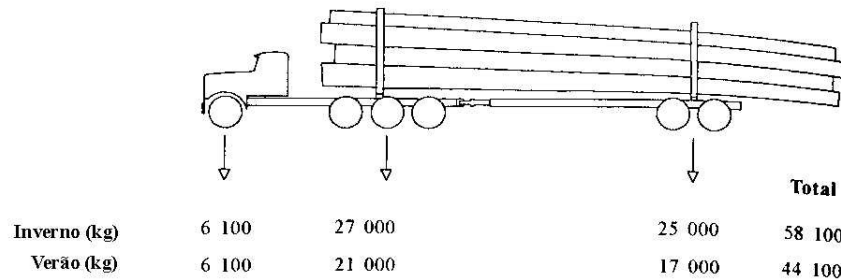


Figura 18. Pesos máximos para a configuração do eixo traseiro do caminhão em “tridem” na Província de Alberta, Canadá (AMLIN et al., 1995).

Tabela 9. Médias das forças máximas de tração (AMLIN et al., 1995).

	Peso/eixo o (kg)	Peso/conjunto (kg)	Forças Máximas	
			Diferenciais bloqueados (kN)	Diferenciais sem bloqueio (kN)
“Tandem”	4715	9430	58,7	59,8
	6990	13980	88,4	85,4
	8500	17000	106,4	107,9
“Tridem”	4737	14210	91,6	74,2
	7003	21010	136,6	105,3

MacGregor (1997) testou um sistema de transferência de peso igualmente com o intuito de aumentar a tração no conjunto de eixos traseiros do caminhão. Com custo de Can\$ 2,750, o sistema Climber 4000 consiste de uma bolsa de ar instalada logo após a 5^a. roda do cavalo mecânico (1,4 m), que pode ser inflada a uma pressão de até 690 kPa (100 psi) a partir da cabine (Figura 19). A transferência de peso, em um caminhão com PBTC de 32350 kg, foi de 1750 kg para o eixo de tração, mas também acarretou em uma redução de 1120 kg no eixo direcional (dianteiro), o que pode causar problemas quanto à dirigibilidade. O autor recomenda que se use o sistema somente em velocidades abaixo de 50 km/h e nunca em estradas públicas com restrições quanto ao peso máximo por eixo.

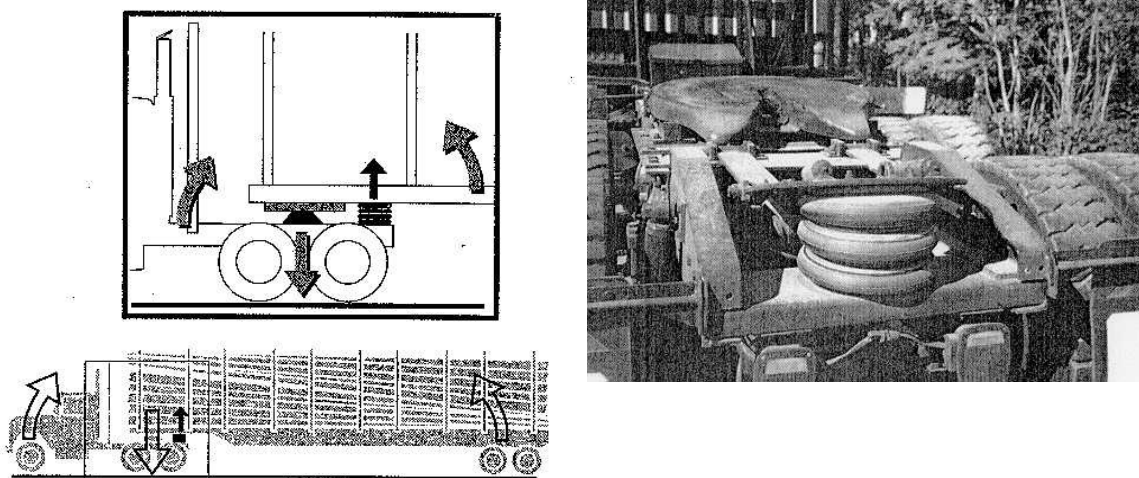


Figura 19. Sistema de melhoria de tração Climber 4000 (MACGREGOR, 1997).

Outro aspecto a ser considerado quanto ao peso aplicado por eixo refere-se ao desgaste resultante na estrutura do pavimento. Um estudo feito nos Estados Unidos, país com excelente malha viária, procurou avaliar as conseqüências de uma proposta para a redução dos limites de carga por eixo (“Proposta Turner”) quanto ao impacto global na economia do país. Prevendo-se redução de gastos com manutenção e conservação de rodovias e pontes, aumento da segurança, reavaliação dos valores de impostos e tarifas, reavaliação dos valores de fretes, gastos adicionais para os operadores, em termos de necessidade de aumento do número de caminhões ou de eixos, concluiu-se que haveria benefícios globais da ordem de US\$ 2 bilhões anuais caso a proposta fosse aceita (TRB, 1990; apud FERNANDES Jr. et al., 1991).

De acordo com Fernandes Jr. et al. (1991), pela “Proposta Turner” os limites de cargas por eixo nos EUA, que já se incluem entre os mais baixos em vigor no mundo, passariam de 9,1 t para 6,3 t (eixo simples) e de 15,4 t para 12,7 t (tandem duplo). Tais valores são ainda mais expressivos quando comparados com a realidade brasileira, uma vez que nossos limites legais vigentes (10 t, 17 t e 25,5 t, respectivamente para os eixos simples, tandem duplo e tandem triplo) são, via de regra, desrespeitados, dada a baixíssima densidade de postos de pesagem em nossa malha viária.

Tal fato foi comprovado por Santos et al. (2007) ao analisar o cumprimento da legislação vigente, em relação à “Lei da Balança”, por parte dos veículos de transporte de madeira em uma empresa florestal na Região Sul do Brasil. Os veículos apresentaram peso acima do permitido pela legislação em cerca de 96%, em média, das viagens realizadas, um excesso médio de 8,3 t, além ainda da tolerância admitida de 5%.

Widmer (1990, a) alerta também para o problema do limite do PBTC em contraposição ao limite estrutural das pontes, que no Brasil eram projetadas em princípio, de acordo com uma norma (NBR 7188) adaptada de uma antiga norma

DIN, com cargas de projeto inferiores aos limites atuais da norma DIN 1072 (Figura 20). Considerando-se a “Bridge Formula” norte-americana, o treminhão e o rodotrem deveriam ter respectivamente PBTC’s máximos da ordem de 53 t e 58 t, e não 62 t e 73 t como são normalmente autorizados. O mesmo autor concluiu ainda quanto à existência de indícios de que o tráfego do semi-reboque de 3 eixos, com cavalo de 2 ou 3 eixos e PBTC legal de 40,5 t e 45 t, pode ser danoso às pontes brasileiras (WIDMER, 1990 b).



Figura 20. Colapso de uma ponte no estado de Minnesota (EUA), em 2007, matando 13 pessoas.

5. Parâmetros técnicos de desempenho dos caminhões

O planejamento do transporte envolve também a determinação da capacidade do veículo de movimentar uma determinada carga, considerando-se as características técnicas do caminhão e as condições do pavimento. De maneira geral, a força do motor deve ser transmitida às rodas (força na roda - Fr) e destas para o solo (força de aderência - Fad). Haverá movimento se Fr ou Fad for superior às forças contrárias: resistência ao rolamento (Fo), resistência de atrie (Fi) e resistência aerodinâmica (Fa).

Força na roda (Fr): divide-se o torque na roda pelo raio dinâmico do pneu (Tabela 10). O torque na roda (Tr) é calculado por:

$$Tr = T_m \times i_m \times i_d \times 0,9$$

T_m = torque no motor

i_m = relação de marcha

i_d = relação do diferencial

0,9 = rendimento da transmissão



Tabela 10. Valores de raio dinâmico (Rd) em função do tipo de pneu.

Tipo de pneu	Raio Dinâmico (m)				
	9,00x20"	10,00x20"	11,00x20"	11,00x22"	12,00x22,5"
Diagonal	0.488	0.506	0.523	0.547	-
Radial	0.493	0.510	0.524	0.549	0.526

Cálculo da Força na Roda: $Fr = Tr / Rd$

Força de aderência (Fad): é o resultado do produto do peso incidente no eixo de tração (P) pelo coeficiente de atrito (μ) pneu/solo (Tabela 11).

$$Fad = P \times \mu$$

Tabela 11. Coeficientes de atrito (μ) pneu/solo

Tipo de Solo	Coeficientes	
	Solo Seco	Solo Molhado
Concreto com 2 anos	0.74	0.71
Concreto com 5 anos	0.68	0.64
Asfalto com 2 anos	0.80	0.70
Cascalho	0.60	0.57
Terra firme	0.65	0.55
Terra solta	0.50	0.40
Argila	0.60	0.40
Saibro	0.70	0.57
Areia	0.20	0.40

O cálculo das forças contrárias ao movimento é descrito a seguir.

Resistência ao rolamento (Fo): a força devido à resistência ao rolamento depende do peso total do veículo (G) em toneladas e de um coeficiente de resistência ao rolamento (Rr) que é dado em kgf de resistência por tonelada de peso do veículo (Tabela 12), em função do tipo do solo:

$$Fo = G \times Rr$$



Tabela 12. Coeficientes de resistência ao rolamento (kgf/t)

Tipo de Solo	Rr
Concreto boa qualidade	10
Concreto	12
Asfalto	11
Asfalto rugoso	15
Cascalhado	20
Terra seca	50
Terra solta	100
Argila	80
Saibro	90
Areia solta	120

Resistência aerodinâmica (Fa): geralmente não é considerada nos cálculos de transporte de madeira devido a sua pequena influência.

Resistência de aclave (Fi):

$$F_i = G \times i$$

G = peso total do veículo em toneladas

i = aclave em decimal

Para o veículo se manter em movimento:

$$F_r \text{ ou } F_{ad} \geq F_o + F_i$$

6. Uso de balanças durante a operação de carregamento

Devido ao maior rigor quanto à fiscalização em termos do cumprimento da Lei da Balança e da própria necessidade de redução dos custos de manutenção de estradas, a determinação do peso da carga de madeira no próprio local de abastecimento tornou-se uma medida imprescindível. A opção de montagem de uma balança na grua do carregador florestal, avaliada por Michaelsen (1993), pode ser mais econômica, entre Can\$12,000 e Can\$16,000, dependendo da

instalação, mas apresentou, no teste em questão, diferenças de leituras acima do nível aceitável de 3% do total da carga (Figura 21). Um transdutor de pressão media o aumento na pressão criada em um sistema hidráulico fechado, quando uma carga era suspensa pela grua. O aumento na pressão era proporcional à quantidade de carga suspensa. Um computador convertia o sinal de pressão para uma leitura de peso e acumulava as cargas individuais. A eficiência do sistema era dependente do cuidado com que o operador manuseava a grua, introduzindo pequenas pausas para a estabilização do sinal após a colocação da madeira na pilha do caminhão. Essas pausas representaram um acréscimo entre 2 e 4 minutos no tempo total de carregamento e havia também um problema de técnica de calibração que pudesse ser feita pelo operador da grua.

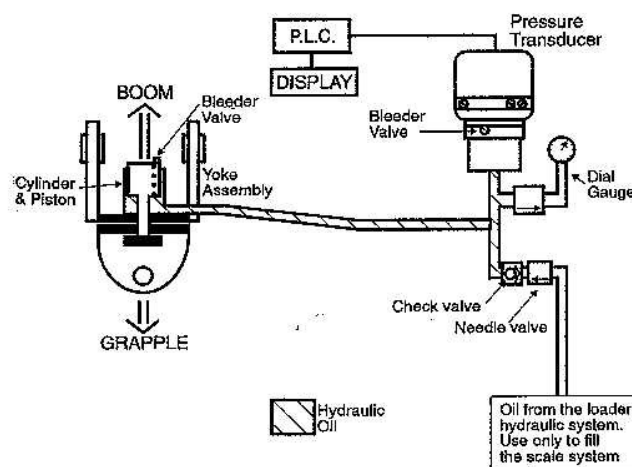


Figura 21. Esquema de uma balança “Superior” montada em uma grua (MICHAELSEN, 1993).

Michaelsen (1998) também avaliou cinco tipos de balanças instaladas em composições rodoviárias e concluiu que quatro delas apresentavam uma calibração razoável, com erro menor do que 3%, equivalentes à tolerância legal, para o Canadá, de 1500 kg para um PBTC de 55.500 kg. Um dos sistemas era inteiramente mecânico (baseado em células de carga), dois eram inteiramente pneumáticos e os outros dois eram sistemas híbridos, ou seja, mecânico no cavalo mecânico e pneumático na carreta (Tabelas 13 e 14).



Tabela 13. Descrição de balanças instaladas em veículos de transporte de madeira avaliadas pelo FERIC (MICHAELSEN, 1998).

Sistemas	Fabricante	Tipo de Balança		Custo (Can\$) ^a	
		Caminhão	Carreta	Sistema	Instalação
Mecânico	Vulcan	Célula de carga	Célula de carga	n.d. ^b	n.d.
Pneumáticos	Vulcan	Pneumático	Pneumático	2366	400
	Cléral	Pneumático	Pneumático	2345	67.50 a 450
Híbridos	SI	Célula de carga	Pneumático	5125	800 a 1000
	Vulcan	Célula de carga	Pneumático	4424	800

^a Valores aproximados sujeitos a diversos fatores. ^b Sistema não mais recomendado pelo fabricante.

Tabela 14. Diferença entre as leituras na balança da fábrica e as leituras no campo com a balança de “bordo” (MICHAELSEN, 1998).

	Posição	No. de Leituras	Diferença (kg) ^a		Intervalo de Confiança (95%)	Erro (%) ^b
			Média	s ^c		
Balança						
Híbrida SI	1	91	138	330	656	1,15
Híbrida Vulcan	2	42	211	588	1188	2,08
Ar Vulcan	3	62	294	603	1206	2,13
Ar Cléral	4	43	139	723	1459	2,63
Célula de Carga Vulcan	5	70	100	902	1800	3,17

^a A diferença representa a leitura na fábrica menos a leitura no campo.

^b O erro significa o intervalo de confiança dividido pelo PBTC obtido na fábrica.

^c s = Desvio Padrão.

7. O sistema CTI (“Central Tire Inflation”)

Um sistema CTI (Figura 22) é um equipamento eletro-mecânico que permite ao motorista do caminhão variar a pressão de inflação dos pneus da própria cabine enquanto dirige. Os benefícios da operação com pressões menores incluem: redução dos requisitos do pavimento; redução da manutenção da estrada; redução da fadiga do motorista e queixas médicas; menor custo operacional do veículo devido a menor número de danos por vibração e menos reparos nos pneus; aumento da mobilidade do veículo, possibilitando o tráfego inclusive em condições antes limitantes de maior presença de umidade no solo (BRADLEY, 1995).



Figura 22. Conjunto de monitoramento central da pressão de inflação de pneus.

O conceito por trás desse sistema é de adequar as pressões de pneus do caminhão a condições operacionais específicas, definidas pela velocidade, terreno, carga e resistência da superfície da estrada. Esta idéia foi aprimorada pelos militares americanos durante a II Guerra Mundial, com o desenvolvimento de sistemas que permitiam ao condutor de um veículo controlar a pressão dos pneus e melhorar assim a sua mobilidade. Na década de 80, engenheiros do USDA Forest Service começaram a estudar a aplicação desse sistema no transporte de madeira considerado fora-de-estrada. O seu uso torna-se mais factível quando existir uma ampla variedade de condições de estradas e possibilidades de emprego de velocidades.

Cerca de 200 caminhões de transporte de madeira estavam equipados com um sistema CTI no Canadá em 1998, sistemas estes variando entre Can\$20,000 e Can\$30,000. O FERIC (“Forest Engineering Research Institute of Canada”) desenvolveu um protótipo para instalar tal sistema somente nos eixos de força do caminhão, buscando, como principal objetivo, aumentar a capacidade de tração do mesmo. O motorista pode escolher entre quatro modos de operação: viajando vazio ou carregado, em combinação com velocidades “fora-de-estrada” ou na estrada. O modo “fora-de-estrada” deve ser usado em estradas secundárias a uma velocidade máxima entre 55 e 60 km/h. O sistema é automático, permitindo estabelecer qualquer nível de pressão entre 25 e 110 psi, de acordo com o tamanho do pneu, configuração do veículo, carga e velocidade. A velocidade do caminhão é monitorada continuamente e, se a mesma exceder aquela estabelecida para o modo em uso, o sistema avisa o motorista para que reduza a velocidade ou selecione um modo com uma pressão maior de inflagem. O custo do protótipo foi de Can\$7,500 para as peças e mais 50 horas de trabalho para montagem e instalação (VINCENT, 1998).

Bradley (1996) tece alguns comentários sobre tempos gastos em um teste feito com um sistema CTI de 180 kg, equipando um veículo com 26 pneus e compressor de ar de larga capacidade (877 l/min) (Figura 23). O tempo de

inflação foi de 4,8 minutos durante o carregamento (em pausa) e 13,0 minutos com o veículo aproximando-se da estrada principal. Um compressor médio (438 l/min) também poderia ser utilizado para inflar os pneus com o veículo em movimento, após entrar na estrada pavimentada, sem maiores problemas de segurança com relação à temperatura dos pneus. Os motoristas que participaram do teste relataram que o uso de pressões menores nos pneus aumentou a mobilidade dos caminhões e reduziu a necessidade de apoio aos “skidders”. Outro resultado referiu-se à profundidade do sulco dos rodados, 7,7% menor, em média, do que aquela resultante do tráfego dos veículos com pneus com maior pressão.

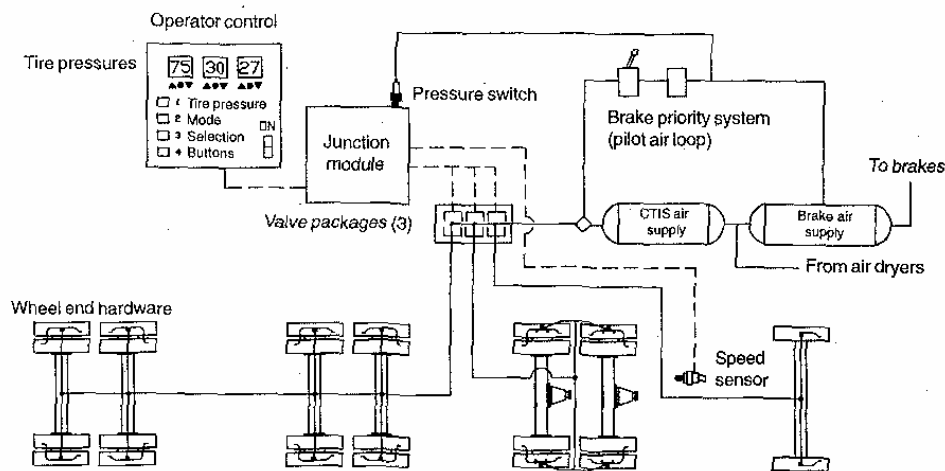


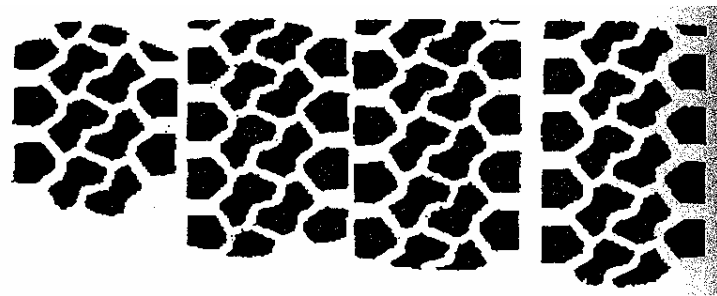
Figura 23. Esquema de um protótipo CTI (BRADLEY, 1996).

Com relação às vantagens do uso do sistema CTI, Taylor (1987) registrou que a manutenção de uma estrada não pavimentada reduziu-se devido ao uso de pneus com baixa pressão, presença de sulcos com 10 cm de profundidade comparados com sulcos de 40 cm pela ação de pneus com maior pressão de inflação. Sturos et al. (1995) destacam a ocorrência de melhorias na capacidade de tração e dirigibilidade do caminhão. Em outro teste realizado durante três anos, abrangendo um total de 2088 carregamentos de madeira, foi observada a redução média de 80% na produção de sedimentos (BRADLEY, 1995). A causa desta diminuição foi a formação de sulcos mais largos e superficiais, com a redução da pressão dos pneus, que geralmente têm taxas de escoamento menores.

Testes comparativos entre caminhões com pneus com alta e baixa pressão, carregados e vazios, apresentaram os seguintes resultados: a) os custos de manutenção e reparos eram 8 vezes maiores para o caminhão com a pressão de pneu maior; b) peças no caminhão com pneus com maior pressão sofriam impacto 2 a 10 vezes maior do que aquelas no caminhão com pneus com baixa pressão; c) os pneus com baixa pressão apresentaram desgaste 15% menor; d) o caminhão com pneus com alta pressão causou maior perda de cascalho nas

curvas revestida deste material; e) ocorreu situação de maior conforto para o motorista no caminhão com pneus com baixa pressão (HODGES, 1987).

Amlin (1996) reforça que uma maior área de contato do pneu (Figura 24) proporciona maior tração e flutuação, menor deslizamento (patinamento) das rodas e conseqüente redução de danos à superfície das estradas e menos danos aos pneus.



Pressão do Pneu	620 kPa	414 kPa	310 kPa	207 kPa
Comprimento da Impressão	25,8 cm	32,0 cm	33,8 cm	36,3 cm

Figura 24. Representação da área de contato de pneus com diversas pressões (Amlin, 1996).

Testes de tração realizados pelo FERIC (BRADLEY, 1993) com as pressões de pneus normalmente empregadas em sistemas CTI (620 kPa; 414 kPa; 310 kPa e 207 kPa), mostraram ganhos de força de tração de 39%, 18% e 8% em relação ao maior valor de pressão (620 kPa), nas pressões de 207 kPa, 310 kPa e 414 kPa, respectivamente (Figura 25).

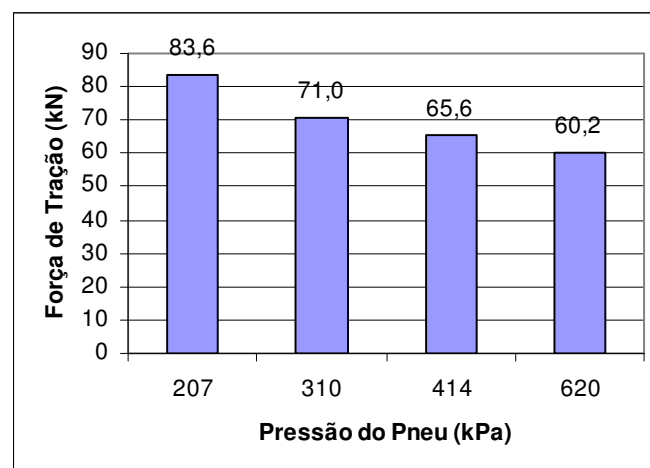


Figura 25. Valores máximos de força na barra de tração em função da pressão do pneu (BRADLEY, 1993).



Ainda com relação à pressão dos pneus, a utilização de equalizadores de pressão de pneus (Can\$100 a 115 a unidade) reduziu o desgaste dos mesmos entre 5 e 22%, podendo diminuir ainda mais se a checagem manual dos pneus fosse feita em intervalos inferiores a duas semanas (MACGREGOR, 1998).

8. Terceirização do transporte

Terceirização é um processo de gestão pelo qual se repassam algumas atividades para terceiros, estabelecendo uma relação de parceria, ficando a empresa concentrada apenas em tarefas essencialmente ligadas ao negócio principal em que atua (Giosa, 1999, apud LEITE et al., 2002).

A prestação de serviços na área florestal ocorre desde a época dos incentivos fiscais, na década de 60, sendo que em meados da década seguinte intensificou-se a transferência do transporte de madeira para caminhoneiros autônomos ou empresas transportadoras (LEITE et al., 2002). Quanto maior o tamanho da operação de transporte, maior a possibilidade de que a utilização de frota própria seja mais atraente do que a utilização de terceiros. Em primeiro lugar porque a atividade de transporte apresenta enormes economias de escala, ou seja, quanto maior a operação, maior as oportunidades de redução de custos. Ser pequeno significa ter pouca capacidade de manter equipes especializadas e de fazer investimentos contínuos em tecnologia, e em especial em tecnologias de informação. Contudo, a necessidade das empresas, mesmo as grandes, de reduzir os investimentos, torna muito atrativa a utilização de ativos de terceiros (FLEURY, 2004).

A opção pela terceirização exige que os seguintes critérios, em ordem de prioridade, sejam considerados por parte da contratante: confiabilidade, preço, flexibilidade operacional, flexibilidade comercial, saúde financeira, qualidade do pessoal operacional e informações de desempenho. A garantia de que a madeira será entregue no prazo e quantidade combinada é vital para a empresa consumidora, acima do critério preço, que serviria mais para a classificação e seleção de empresas. A capacidade do terceiro em adaptar a operação e renegociar preços, bem como atender demandas quanto ao tipo de veículo e níveis de serviço, é uma característica muito demandada, mas que depende sobremaneira da sua saúde financeira. Isso pode ser facilitado com a decisão da contratante em diminuir o número de transportadoras utilizadas e a determinação de um frete justo, que possibilite a sua sobrevivência e capacidade de investimentos.

Outro ponto muito importante é a diminuição dos tempos gastos com as atividades de carga e descarga, que muitas vezes está a cargo da contratante. Não se pode admitir a existência de filas extensas e demoradas nos pátios das empresas, unicamente pela incapacidade da mesma em otimizar a descarga dos caminhões. Assim como, a qualidade das estradas de acesso aos locais das



plantações florestais passa a ser também um fator limitante da possibilidade de ganho dos transportadores.

Trata-se de um processo irrevogável, mas que exige que seja realmente firmada uma parceria, onde a melhoria da capacidade financeira do terceiro terá como consequência a garantia de suprimento de madeira nos prazos e quantidades combinadas.

9. Transporte de madeira por ferrovias

No Brasil o principal meio de condução da madeira é o rodoviário, com cerca de 63% da carga transportada em cima de caminhões. A segunda opção é o modal ferroviário responsável pelo transporte de 20%. O transporte por ferrovias é mais barato em relação ao rodoviário, mas enfrenta os problemas do pequeno número de vias férreas próximas às florestas, o alto investimento inicial de implantação e a necessidade de uma distância elevada de transporte para a sua viabilização econômica. Essa distância nos EUA está acima de 500 km e na Escandinávia é superior a 200 km, sendo que a utilização da madeira na elaboração de produtos de maior valor agregado pode diminuir esse valor (Tabela 15).

Tabela 15. Distribuição por modos do transporte de madeira à longa distância em países da Escandinávia.

	FINLÂNDIA		SUÉCIA		NORUEGA	
	% Volume	Dist. Média (km)	% Volume	Dist. Média (km)	% Volume	Dist. Média (km)
Madeira p/ serraria						
Caminhão	40	73			98	35
Ferrovia	2	160			2	150
Flutuação	11	225			-	-
Madeira p/ celulose						
Caminhão	31	93	90	80	75	73
Ferrovia	5	252	7	221	14	225
Flutuação	11	250	3	230	11	220

A malha ferroviária brasileira se estende por cerca de 28,5 mil quilômetros, dos quais 80% em bitola métrica (um metro) e o restante em bitola larga (1,6 metro) ou mista. A bitola é a distância entre as faces internas dos trilhos de uma via. Por erros de planejamento do passado, que não priorizou a uniformização, o Brasil hoje possui os dois tipos de bitola. Embora a malha de bitola métrica seja bem mais extensa (23,5 mil quilômetros), é na bitola larga (5,6 mil quilômetros) que se encontram as mais modernas ferrovias, como a E. F. Carajás, a Ferronorte, a

Ferrovia Norte – Sul e a Ferrovia do Aço (MRS Logística). Com a diferença de bitolas há necessidade de transferência de passageiros ou transbordo de mercadorias no ponto de mudança de bitola, o que acarreta aumento dos tempos de viagem e custos. Além disso, as ferrovias que operam com dois tipos diferentes de bitola possuem duas frotas distintas de trens e também veículos de manutenção da via especializados em cada tipo de bitola, o que reduz a economia de escala que um único tipo de frota proporciona, em termos operacionais e de manutenção (REVISTA REFERÊNCIA, 2005).

A empresa VCP (Votorantim Papel e Celulose) gasta anualmente 150 milhões de reais com o transporte de madeira e pretendia aumentar a participação do modal ferroviário de 5% para 22% em 2006. O transporte de toras de madeira para abastecimento da VCP tem a previsão de movimentar 216 mil toneladas anuais. Para viabilizar esse fluxo foi feito um investimento da ordem de R\$ 7,2 milhões, gastos com a reforma de 20 vagões plataforma (Figura 26) e adequação de um terminal intermodal em São Paulo (SP). A empresa teve também que construir um desvio ferroviário específico para descarga das toras de madeira. O fluxo é iniciado na cidade de Guaíba, no Rio Grande do Sul, onde estão localizadas as áreas de plantio da VCP. A carga segue até o Terminal Intermodal de Água Branca, onde é transferida dos vagões de bitola estreita para os vagões de bitola larga, que concluem o trajeto até a fábrica da VCP, em Jacareí (SP).



Figura 26. Vagão especial para transporte de toras (Foto: José Souza).

Outra questão estratégica refere-se à movimentação da madeira da floresta até um pátio ferroviário (Figura 27) e do terminal até à fábrica, envolvendo uma despesa com o transbordo por caminhões. A Aracruz Celulose construiu um ramal ferroviário que liga a Ferrovia Vitória-Minas diretamente ao pátio de madeira da fábrica, numa extensão de 2.360 metros de comprimento (Figura 28). O ramal possui um desvio de 252 metros, o que possibilita também o recebimento de outros insumos. O investimento neste projeto foi da ordem de US\$ 1,2 milhão, que incluiu além das obras a instalação de uma balança dinâmica, montada para pesar a madeira com a composição ferroviária em movimento. Com esse ramal foi

eliminado o transbordo da madeira por carretas, anteriormente desembarcada a quatro quilômetros da fábrica.

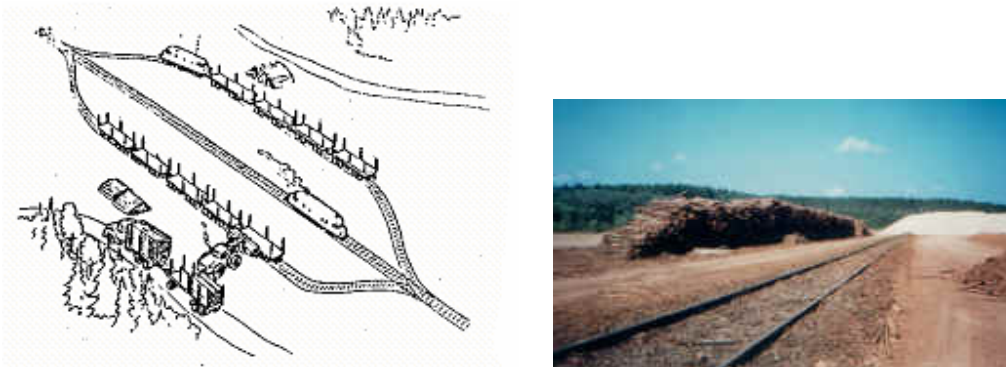


Figura 27. Terminal ferroviário de carga de madeira.



Figura 28. Ramal ferroviário da Aracruz Celulose (ANDRADE, 2003)

A Estrada de Ferro Jari foi construída para transportar madeira que alimenta a fábrica de celulose do Projeto Jari e entrou em operação em 1979. Localiza-se ao norte do Estado do Pará, próximo à divisa com o Estado do Amapá. A madeira da região é transportada até o Porto de Mungubá, à margem do Rio Jari. A necessidade de abastecer a fábrica de celulose levou à construção da Estrada de Ferro, que em função da sua grande capacidade de transporte aliada ao baixo custo supria de forma confiável e segura a fábrica de celulose.

Os 68 km de linhas atuais interligam os três pátios principais da Ferrovia, um deles onde está localizada a área industrial, e alguns pontos intermediários onde eventualmente é estocada madeira em função da localização dos pátios principais em relação às áreas de corte. O fluxo do tráfego ferroviário é regido pela necessidade de madeira na fábrica de celulose, ficando em média na ordem de três viagens/dia, sendo as composições normalmente constituídas por vagões com madeira, podendo chegar a 24 vagões quando transporta-se bauxita refratária com madeira, não utilizando-se unidades múltiplas. O transporte também contempla brita para uso na manutenção da Via Permanente e máquinas



operatrizes em vagões adaptados, ficando em torno de 180.000 toneladas/ano de bauxita e 1.500.000 toneladas/ano de madeira.

10. Transporte de madeira por via fluvial

Trata-se da mais antiga forma de transporte de madeira, mas foi sendo substituída gradativamente devido a maior economicidade do transporte por caminhões em curtas distâncias e a sazonalidade do transporte fluvial, dificultando o transporte contínuo. A construção de barragens para geração de energia também dificulta o fluxo de transporte, exigindo a construção de eclusas para a eliminação do problema. Mesmo assim, trata-se de um meio de transporte muito econômico, conforme ilustrado pelas seguintes comparações:

- Um comboio de 10 mil toneladas transporta a carga equivalente à transportada por 278 caminhões de 36 toneladas cada.
- Um comboio de 10 mil toneladas, num percurso de 500 km, consome cerca de 21 toneladas de combustível. Uma frota de 278 caminhões, para cobrir o mesmo percurso, consome 54 toneladas.
- Para se conduzir uma frota de 278 caminhões são necessários 556 homens, entre o motorista e ajudantes. Um comboio de 10 mil toneladas é tripulado por 12 pessoas.
- Quilometragem percorrida com 1 litro de combustível e carga de 1 tonelada:
 - Caminhão: 25 quilômetros
 - Trem: 86 quilômetros
 - Comboio: 219 quilômetros (NUNES, 2007).

Uma outra comparação feita por Rosa (2005), envolvendo os modais rodoviário, ferroviário e fluvial, encontra-se ilustrada na Figura 29.

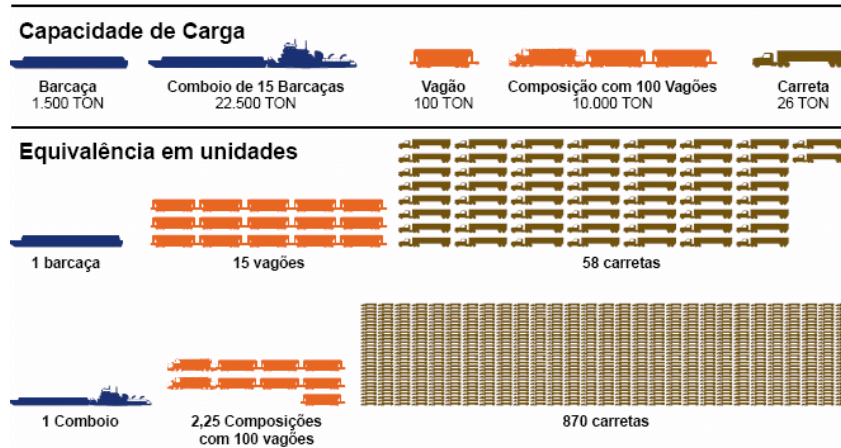


Figura 29. Equivalência de transporte de acordo com a capacidade de carga para os modais fluvial, ferroviário e rodoviário (ROSA, 2005).

A Figura 30 ilustra as principais hidroviáveis brasileiras, as quais totalizam 42.000 km de vias navegáveis, com o maior potencial concentrando-se na região amazônica. De acordo com Lentini et al. (2003), o custo do transporte fluvial na Amazônia está entre US\$ 0.05 e US\$ 0.10 por metro cúbico de madeira em tora por quilômetro transportado, utilizando-se de balsa ou jangada. Com uma rede viária deficiente, o transporte rodoviário situa-se entre US\$ 0.10 e US\$ 0.60, dependendo da qualidade das estradas (Tabela 16).

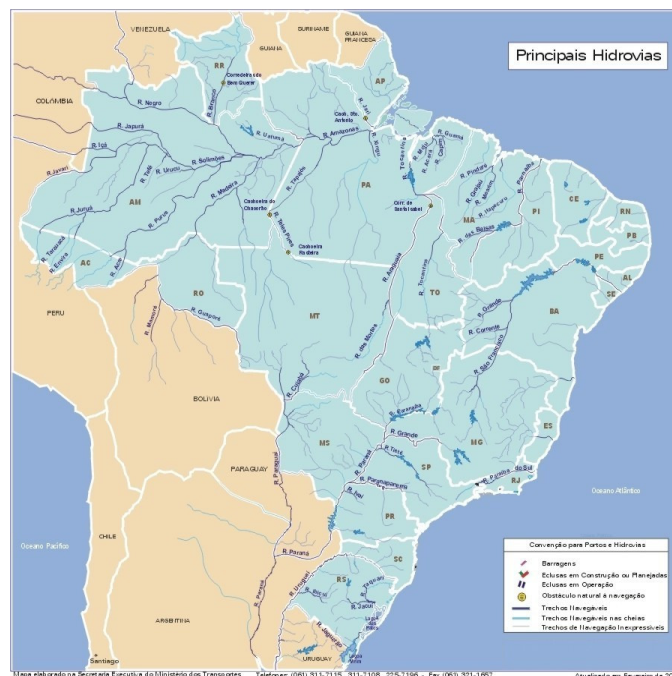


Figura 30. Principais hidroviáveis brasileiras (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2008).

Tabela 16. Custos médios de transporte de toras por tipo de superfície na Amazônia Legal, 1998 (Lentini et al., 2003).

Tipo de Acesso	Custo de Transporte¹ (US\$/m³ tora por km)
Fluvial (jangadas)	0.05 – 0.06
Fluvial (balsas)	0.08 – 0.10
Rodovias asfaltadas	0.10 – 0.12
Rodovias de terra piçarradas (razoáveis)	0.18 – 0.20
Rodovias de terra não-piçarradas (baixa qualidade)	0.28 – 0.30
Rodovias rústicas – sem nivelamento e revestimento	0.60

¹ Câmbio médio de 1998: US\$ 1.00 / R\$ 1,16

O transporte de madeira nos rios da Amazônia é feito por livre flutuação das toras, amarradas umas às outras, ou por diversos tipos de balsas, como os exemplos da Figura 31.

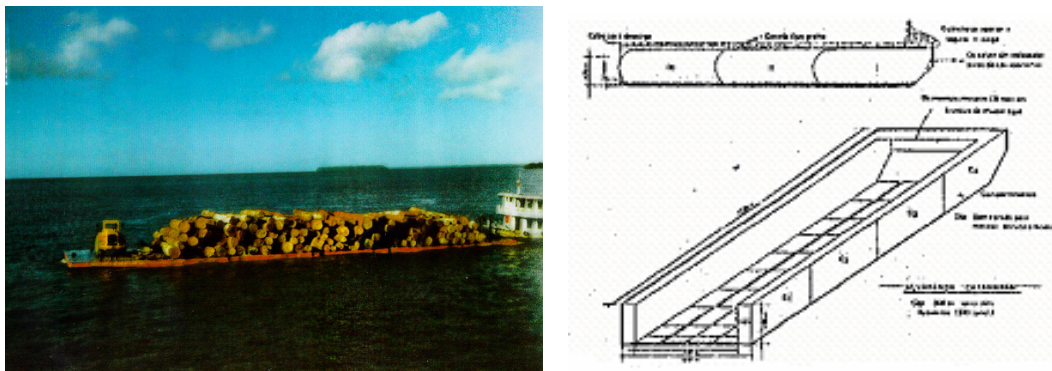


Figura 31. Transporte em balsa (Esq.) e balsa tipo Catamarã (Dir.).

No caso do transporte de toras de eucalipto, um exemplo de destaque é o da empresa VCP (Votorantim Celulose e Papel), realizando o transporte por meio fluvial na hidrovía Tietê – Paraná, entre Araçatuba e Anhembi, de onde a madeira segue por rodovia até a fábrica de celulose em Jacaréí, interior de São Paulo. A implantação da hidrovía Tietê–Paraná consumiu investimentos da ordem de US\$ 2 bilhões nas últimas duas décadas, aplicados na construção de eclusas e 12 terminais hidroviários. O sistema soma cerca de 2,4 mil quilômetros de vias fluviais navegáveis, interligando cinco Estados brasileiros – Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo, tornando-se importante corredor de transporte de grãos, fertilizantes, açúcar e outros produtos.

A VCP iniciou esse tipo de transporte em 2005, contando com 18 barcaças e três empurradores no circuito hidroviário para executar o transporte de 42 mil

toneladas de madeira por mês. Cada empurrador trafega com quatro barcaças durante o percurso hidroviário, percorrendo 417 quilômetros em dois dias e 20 horas, em média. Cada chata pode transportar cerca de 75 feixes de madeira, o equivalente a 1,3 mil metros cúbicos, resultando em um total de 5,2 mil toneladas de madeira por comboio (Figura 32). Tracionados por empurradores, que contam com dois motores de 500 cavalos cada um, os comboios trafegam à velocidade média de 20 quilômetros por hora e cada comboio é integrado por uma tripulação de 11 pessoas. Durante o trajeto, as embarcações precisam vencer cinco eclusas e várias pontes, sendo que nessas passagens, por razões de segurança, os comboios precisam ser desmembrados.

Em consequência do fluxo multimodal (rodoviário-hidroviário-rodoviário) ser 11% mais barato do que o modelo anterior (rodoviário puro), isso resultou num ganho de competitividade de 3% sobre o custo de produção da celulose. Outro fator de ganho foi de que o número de caminhões envolvidos no transporte de madeira entre Três Lagoas (MS) e Jacareí (SP) caiu de 90 para 35, diminuindo a probabilidade de ocorrência de acidentes, proporcionando menor consumo de óleo diesel e menor emissão de poluentes (REVISTA VCP, 2007).

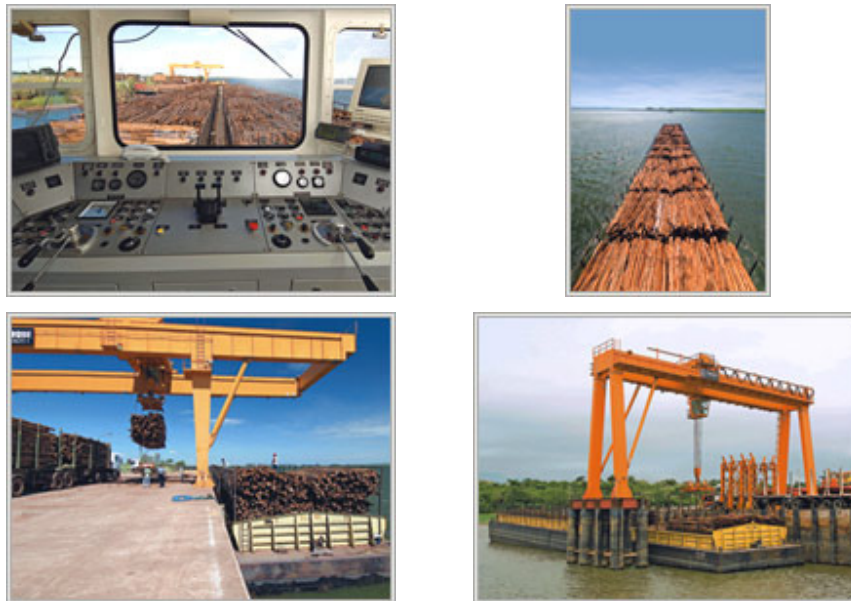


Figura 32. Transporte de toras de eucalipto na hidrovía Tietê- Paraná (REVISTA VCP, 2007).

Já a Aracruz implantou, em 2003, um sistema de transporte marítimo de toras de eucalipto entre Caravelas (BA) e Barra do Riacho (ES) (Figura 33), um trecho de 275 km em linha reta, com capacidade de transporte de 3,4 milhões de metros cúbicos por ano. A frota é composta de quatro navios-barcaças e dois empurradores. Cada barcaça tem capacidade para transportar cerca de cinco mil metros cúbicos de madeira em 12 horas de viagem, o que equivale à carga de

100 carretas, uma redução de 200 viagens/dia de carretas de madeira pela BR 101, reduzindo o tráfego na rodovia e as emissões de gases provenientes da queima de diesel. Com um investimento inicial de US\$ 32,6 milhões, a economia operacional estimada é de 15%.



Figura 33. Terminais de Caravelas (Esq.) e Barra do Riacho (Dir.) (ANDRADE, 2003).

O carregamento e o descarregamento da madeira, transportada a granel em toras de 6 metros, são feitos por empilhadeiras de grande porte, com garras especiais para esse tipo de carga (Figura 34).



Figura 34. Processo de carregamento das barcaças (ANDRADE, 2003).

11. Considerações

O transporte de madeira por caminhões ainda será o principal modal no Brasil por um longo período, assim como a utilização de terceiros. No entanto, suas vantagens podem ser superadas pelo envelhecimento da frota, aumento dos custos operacionais, manutenção deficiente das rodovias, concorrência por frete e política de preços inviáveis para a sobrevivência dos transportadores. A real parceria entre os interessados, contratantes e terceiros, e a intervenção urgente do governo, recuperando as rodovias e diminuindo a incidência de taxas e impostos, serão fatores importantes para que essa atividade colabore com o progresso e a viabilidade econômica do negócio florestal em nosso país.



12. Bibliografia

- AMLIN, E.; KLAWER, P.; HART, D.V. Evaluation of a tridem drive tractor for log transportation. FERIC Special Report No. SR-105, Vancouver, 1995. 27 p.
- AMLIN, E. Advances in log truck technologies. FERIC Special Report SR-116, p. 58-65, 1996.
- ANDRADE, T.M. A logística da madeira da Aracruz Celulose. BAHIA ANÁLISE & DADOS, Salvador, v. 13, n. 2, p. 247-251, set. 2003.
- BRACELPA. Relatório Estatístico Florestal 1999. São Paulo: Bracelpa, 2000. 60 p.
- BRADLEY, A.H. Testing a central tire inflation system in Western Canadian log – hauling conditions. FERIC, Vancouver, 1993. 11 p.
- BRADLEY, A.H. Lower tire pressures lessen sedimentation from forest roads. FERIC Field Note No.: Loading & Trucking 47, 1995. 2p.
- BRADLEY, A.H. Trial of a central tire inflation system on thawing forest roads. FERIC Technical Report No. TR-116, 27 p. 1996.
- CHAMPION PAPEL E CELULOSE S/A. Encontro sobre abastecimento de madeira. Mogi Guaçu, 1983. 1 v. (não publicado).
- COPPEAD/CNT. <http://www.cnt.org.br/cnt/downloads/cnt-coppead-cargas.pdf>
- DURAFLORA SILVICULTURA E COMÉRCIO LTDA. Sistema de exploração Duraflora. Lençóis Paulista, 1984. 1 v. (não publicado)
- DURATEX FLORESTAL S/A. Racionalização das operações florestais de exploração em florestas de eucalipto. In : SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, Curitiba, 1987. Anais. Curitiba, FUPEF. P.187-197. 1987.
- FERNANDES, J.M.; TIBURCIO, V.C.S. A utilização do alto grau de mecanização em sistemas de exploração florestal de Pinus. In : SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, Curitiba, 1987. Anais. Curitiba, FUPEF. P.144-148. 1987.
- FERNANDES JR., J.L.; SÓRIA, M.H.A.; WIDMER, J.A. Avaliação dos efeitos prováveis dos limites legais de cargas por eixos e da sobrecarga sobre a deterioração dos pavimentos no Brasil. Reunião Anual de Pavimentação, 25. Anais. São Paulo, p. 2089-2104. 1991.
- FLEURY, P.F. Gestão estratégica de transporte. Curitiba, Revista da Madeira. P. 112-6, jun. 2004.
- FLEURY, P.F. Decisão sobre propriedade da frota: própria ou terceiros? Curitiba, Revista da Madeira. P. 117-23, jun. 2004.
- HAKKILA, P.; MALINOVSKI, J.R.; SIRÉN, M. Feasibility of logging mechanization in Brazilian forest plantations. Helsinki: Finnish Forest Research Institute, Research Papers 404, 1992. 68 p.
- HODGES, H.C.; ASHMORE, C.; SMITH, E.; GILILAND, E.; ESPENOSA, E. Nevada Automotive Test Center Final Report – Central Tire Inflation. USDA FS, Rep. 53-9JA9-6-SD647, 1987. 142 p.



- LEITE, A.M.P.; SOUZA, A.P.; MACHADO, C.C. Terceirização. In: MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. Viçosa: UFV, 2002. cap. 15, p. 423-44.
- LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; SOBRAL, L. Fatos florestais da Amazônia. Belém: Imazon, 2003. 110 p.
- MAC GREGOR, D.T. The Climber 4000 weight transfer system for increasing drive-axle traction. FERIC Field Note No.: Loading & Trucking-55, 1997. 2 p.
- MAC GREGOR, D.T. Tire-pressure equalizers reduce tire wear. FERIC Field Note No.: Loading & Trucking-61, 1998. 2 p.
- MACHADO, C.C. Exploração florestal: I Parte. Viçosa: Imprensa Universitária - UFV, 1984. 138 p.
- MACHADO, C.C.; LOPES, E.S.; BIRRO, M.H.B. Elementos básicos do transporte florestal rodoviário. Viçosa: Editora UFV, 2000. 167 p.
- MARTINI, E.L.; LEITE, N.B. Planejamento florestal, a importância e a aplicação da programação linear. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL, 1, Curitiba, 1988. Anais. Curitiba: EMBRAPA/CNPQ, 1988. V.2, P.545-574.
- MICHAELSEN, J. The superior custom trailers loader scale. Feric Field Note: Loading & Trucking, n.33, p.1-2, set.1993.
- MICHAELSEN, J. A new Temisko multipurpose trailer for tree-length logs and chips. FERIC Field Note: Loading & Trucking, n.50, 1996.
- MICHAELSEN, J. A comparative evaluation of onboard weight scales. FERIC technical Note TN-275, 1998. 6 p.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Principais hidrovias. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/bit/inhidro.htm>. Acessado em: 24/06/2008.
- MOREIRA, M.F. A utilização do transporte pesado em curtas distâncias. In : SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, Curitiba, 1987. Anais. Curitiba, FUPEF. P.218-238. 1987.
- NUNES. O. A. Transporte Fluvial. Publicado em: 08/09/2007. Disponível em: <http://www.webartigos.com/articles/2181/1/Transporte-Fluvial/Pagina1.html>. Acessado em: 09/01/2008.
- REVISTA REFERÊNCIA. Logística - Transporte florestal: diversificação e redução de gastos. Disponível em: www.revistareferencia.com.br, ed. 47, 2005. Acessado em: 08/01/2008.
- REVISTA VCP. Pelo caminho das águas. Edição N° 14, publicada em 18/05/2007. Disponível em: <http://www.vcp.com.br/Fornecedores/Noticias/caminhoAguas.htm>. Acessada em: 10/01/2008.
- RIBEIRO, B.A.M. Coordenação vertical do transporte de madeira: análise empírica dos arranjos institucionais existentes na indústria brasileira de celulose. Piracicaba. 113 p. 1998. (Dissertação de Mestrado – ESALQ).
- ROSA, D.J.M. Plano Nacional de Recursos Hídricos: Navegação Interior. 2005. Disponível em: http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/Apresentacoes/APNavegacao.pdf. Acessado em: 10/01/2008.
- SALMERON, A. Exploração e abastecimento de madeira na RIPASA S/A Celulose e Papel. Americana, Ripasa Florestal, s.d. 30 p.



SANTOS, M.D.; LOPES, E.S.; MUDRI, L.C.; MACHADO, C.C.; RIBEIRO, A.B. Avaliação de veículos de transporte rodoviário florestal. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, Uberlândia, 2007. Anais. Viçosa: SIF/UFV, 2007. P. 307-316.

SCANIA. Lei da balança: aspectos técnicos legais. São Bernardo do Campo: SCANIA, 1997. 8 p.

SEIXAS, F. Uma metodologia de seleção e dimensionamento da frota de veículos rodoviários para o transporte principal da madeira. São Carlos. 106 p. 1992. (Tese de Doutorado – EESC).

SIMÕES, J.W.; BRANDI, R.M.; LEITE, N.B.; BALLONI, E.A. Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento. Brasília, IBDF, 1981. 139 p.

STUROS, J.A.; BRUMM, D.B.; LEHTO, A. Performance of a logging truck with a central tire inflation system. USDA FS NC RP(322), 1985. 10 p.

TAYLOR, D.J. National central tire inflation program – Boise National Forest field operational tests. Proj. Rep. 8771 1201. USDA FS, 1987. 42 p.

VIEIRA, G.A. Logística de processo florestal – uma abordagem gerencial. In : XIII SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, Curitiba, 2004. Anais. Curitiba, FUPEF. P.147-192. 2004.

VINCENT, B. FERIC's central tire inflation system. Feric Field Note No.: Loading & Trucking-60, 1998. 2p.

WEBB, C.R. Popular B.C. vehicle configurations for hauling cut-to-length logs: maximum weights and dimensions guide, effective October 1997. FERIC Field Note No. Loading & Trucking-59, 1998. 2 p.

WIDMER, J.A. Transporte rodoviário de carga – Evolução da legislação de dimensões e pesos no exterior. Encontro Anual da ANPET, 4. Porto Alegre, 1990 a. 15 p.

WIDMER, J.A. Operação de veículos combinados longos – Evidências da operação nos EUA, no Canadá e na Austrália. Encontro Anual da ANPET, 4. Porto Alegre, 1990 b. 17 p.