

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

JAIRO BARBIERI RODRIGUES DA VITÓRIA

DIAGNÓSTICO DO SETOR DE SECAGEM ARTIFICIAL DE MADEIRA  
DA SERRARIA PINDOBAS, VENDA NOVA DO IMIGRANTE, ESPÍRITO  
SANTO

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO

2012

JAIRO BARBIERI RODRIGUES DA VITÓRIA

DIAGNÓSTICO DO SETOR DE SECAGEM ARTIFICIAL DE MADEIRA  
DA SERRARIA PINDOBAS, VENDA NOVA DO IMIGRANTE, ESPÍRITO  
SANTO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Industrial Madeireira do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

Orientador: Prof. D.Sc. Djeison Cesar Batista

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO

2012

# DIAGNÓSTICO DO SETOR DE SECAGEM ARTIFICIAL DE MADEIRA DA SERRARIA PINDOBAS, VENDA NOVA DO IMIGRANTE, ESPÍRITO SANTO

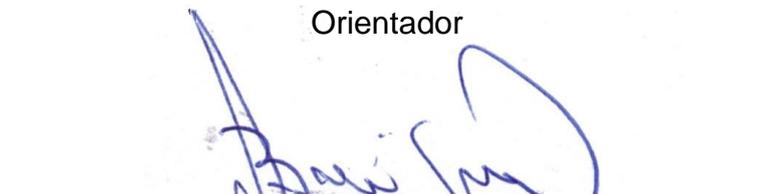
Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Industrial Madeireira do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

Aprovada em 23 de outubro de 2012.

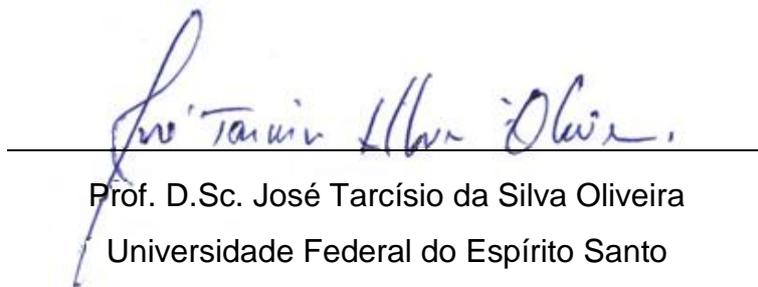
## COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. D.Sc. Djeison Cesar Batista  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador



Prof. D.Sc. Juarez Benigno Paes  
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. D.Sc. José Tarcísio da Silva Oliveira  
Universidade Federal do Espírito Santo

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Espírito Santo pela oportunidade e a todos os professores que auxiliaram na minha formação acadêmica, pelos ensinamentos transmitidos.

Ao meu professor orientador, Djeison Cesar Batista, pela orientação, disposição e estímulo, sendo capaz de transmitir um pouco de seus conhecimentos e experiência, os quais levarei comigo ao longo de minha vida.

Aos senhores Almir, Mirim, Paulo, e a todos os demais funcionários da Serraria Pindobas que me auxiliaram e deram a oportunidade de realizar o meu trabalho.

À minha família, por todo apoio, incentivo e carinho, que ajudou a me tornar a pessoa que sou. Agradeço, em especial, aos meus pais, Jaira Maria e Jaime, pela determinação e luta na minha formação, e à minha irmã, Jamile, que por mais difícil que fossem as circunstâncias, sempre me deu forças e me transmitiu confiança.

A todos os amigos que fizeram parte em algum momento e a todos os que ainda estão presentes em minha vida, em especial aos do Ensino Médio, que tenho o prazer de compartilhar momentos felizes até hoje, sendo estes Bruno, Francisco, Leonardo, Marx e Yuri.

Aos companheiros que ingressaram ao curso junto comigo, em especial aos que eu criei um grande laço de amizade Fernando, Allan, Lucas e Franco.

Aos meus companheiros e ex-companheiros de república, que juntos tivemos muitos momentos especiais e acredito que levaremos conosco muitas histórias para contar, sendo estes Jair, João, Lair, Luciano, Lucas e Sriratna.

A todos que fazem parte do grupo de amigos do “Nutrideira”.

À minha namorada Leandra, pelo apoio, paciência e companheirismo oferecidos nos dois últimos anos da minha graduação. Com seu amor, tudo ficou mais fácil.

Aos companheiros de torcida, Jordano, João Alberto, Leandra e Luciano, que compartilharam comigo todas as alegrias e tristezas nos jogos de futebol.

E por fim, agradeço de forma especial ao meu grande amigo João Virgílio, que infelizmente não poderá ler estas linhas, pois não se encontra mais entre nós, mas gostaria que todos que as lerem soubessem que o tempo nunca apagará os momentos que passamos juntos.

“Você só vive uma vez, mas se você  
fizer certo, uma vez é o suficiente.”

Joe E. Lewis

## RESUMO

Tendo em vista o quanto a umidade afeta a qualidade da madeira, nota-se a importância que o setor de secagem possui na produção das empresas de madeira serrada, em que a qualidade de um produto a base de madeira sólida é delimitada pela qualidade da secagem da matéria prima utilizada. Este estudo teve como objetivo diagnosticar o setor de secagem artificial de madeira da Serraria Pindobas, localizada em Venda Nova do Imigrante, Sul do Estado do Espírito Santo. Especificamente, buscou-se verificar as condições das câmaras e equipamentos de secagem, analisar a preparação das cargas de secagem, averiguar a adequação do programa de secagem utilizado e avaliar a qualidade da madeira seca. Este estudo foi realizado por um levantamento de informações por intermédio de um questionário preenchido mediante observação direta do processo e relato oral dos operários. Com o estudo concluiu-se que o empilhamento deixa a desejar, as câmaras já estão bem gastas por vários anos de utilização, o programa de secagem utilizado pela empresa é inadequado para o processo e que o índice de defeitos da madeira seca está dentro do esperado, de acordo com as condições de secagem. Com isso, foi recomendada maior atenção com o empilhamento, realização de reparos nas instalações e equipamentos da câmara, implantação do controle da umidade da carga e a modificação do programa de secagem adequando-o a espécie e a qualidade final desejada.

Palavras-chave: Madeira serrada. Secagem da madeira. Qualidade da secagem. Programa de secagem.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 O PROBLEMA E SUA IMPORTÂNCIA .....	2
1.2 OBJETIVOS .....	2
<b>1.2.1 Objetivo geral</b> .....	2
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	2
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	3
2.1 TIPOS DE ÁGUA NA MADEIRA .....	3
2.2 INFLUÊNCIA DA UMIDADE NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA.....	3
2.3 SECAGEM DA MADEIRA .....	3
<b>2.3.1 Entabamento e empilhamento</b> .....	5
2.4 TÉCNICAS DE SECAGEM .....	7
<b>2.4.1 Secagem natural da madeira</b> .....	7
<b>2.4.2 Secagem artificial da madeira</b> .....	8
2.5 DEFEITOS DE SECAGEM.....	10
2.6 MADEIRA DE <i>Pinus</i> sp. ....	11
<b>2.6.1 Área plantada no Brasil e Espírito Santo</b> .....	12
<b>2.6.2 Madeira de <i>Pinus</i> sp. e demais coníferas</b> .....	13
<b>2.6.3 Programas de secagem para <i>Pinus</i> sp.</b> .....	13
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	16
3.1 ANÁLISE GERAL .....	17
3.2 PREPARAÇÃO DA CARGA PARA SECAGEM .....	17
<b>3.2.1 Empilhamento da madeira</b> .....	17
<b>3.2.2 Carregamento da câmara de secagem</b> .....	18
3.3 CÂMARAS DE SECAGEM.....	18
3.4 PROGRAMA DE SECAGEM.....	18
3.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA SECA .....	18

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	20
4.1 ANÁLISE GERAL .....	20
4.2 PREPARAÇÃO DA CARGA PARA SECAGEM .....	20
<b>4.2.1 Empilhamento da madeira</b> .....	20
<b>4.2.2 Carregamento da câmara de secagem</b> .....	21
4.3 CÂMARAS DE SECAGEM.....	22
4.4 PROGRAMA DE SECAGEM.....	27
4.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SECAGEM DA MADEIRA .....	28
4.6 AVALIAÇÃO GERAL DO SETOR DE SECAGEM .....	29
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	30
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	31
<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA OBTENÇÃO DE DADOS</b> .....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Valores recomendados para as dimensões da secção dos tabiques e a distancia entre eles, em função das diferentes espessuras das peças.....	6
Tabela 2 -	Programa de secagem para <i>Pinus</i> sp. com até 25 mm de espessura, visando teor de umidade final de 13% .....	14
Tabela 3 -	Programa de secagem para <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> com até 28 mm de espessura .....	14
Tabela 4 -	Programa de secagem para <i>Pinus taeda</i> e <i>Pinus elliottii</i> , para uma qualidade de secagem regular .....	15
Tabela 5 -	Programa de secagem para <i>Pinus taeda</i> e <i>Pinus elliottii</i> , para uma alta qualidade de secagem .....	15
Tabela 6 -	Programa utilizado pela empresa para <i>Pinus taeda</i> e <i>Pinus elliottii</i> , visando teor de umidade final de 12% .....	27

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 -	Empilhamento adequado .....	7
Figura 02 -	Defeitos de secagem .....	11
Figura 03 -	Histórico das áreas de plantios de <i>Pinus</i> sp. no Brasil, 2005-2011 .....	12
Figura 04 -	Plantio de <i>Pinus</i> sp. no Espírito Santo, 2005-201 .....	13
Figura 05 -	Setor da serraria avaliado no estudo .....	16
Figura 06 -	Visão lateral da carga empilhada sobre um dos vagonetes .....	21
Figura 07 -	Carga pronta sobre um dos vagonetes .....	22
Figura 08 -	Câmara de secagem – avaliação do piso e paredes .....	24
Figura 09 -	Porta da câmara de secagem .....	24
Figura 10 -	Sistema de aquecimento – trocadores de calor tipo tubos aletados .....	25
Figura 11 -	Sistema de aquecimento – caldeira para geração de vapor .....	25
Figura 12 -	Sistema de circulação de ar – ventilador .....	26
Figura 13 -	Sistema de circulação de ar – damper .....	26
Figura 14 -	Termômetros de bulbo úmido (a) e bulbo seco (b) .....	28
Figura 15 -	Pilha de peças defeituosas .....	29

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira vem sendo utilizada pelo homem desde os primórdios, e a tendência é que este material continue tendo uma ampla utilização. Isto se justifica por de ser um bem renovável de grande espectro de utilização e ser abundante, mesmo após séculos de exploração.

Das características da madeira, uma das menos desejáveis é a instabilidade dimensional. Quando abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF), que é de aproximadamente 30% de umidade, a mesma varia as suas dimensões de acordo com a quantidade de água que ganha ou que perde para o meio.

Essa variação é diferente quando se trata das direções estruturais longitudinal, radial ou tangencial, tendo uma menor variação na primeira e maior na última. A redução da instabilidade dimensional é uma das principais razões para a secagem da madeira, em que se busca assegurar que a mesma seja dimensionalmente tão estável quanto possível em serviço.

A secagem é tratada como uma etapa de grande importância que deve ser agregada ao processamento da madeira sólida, existindo uma forte ênfase em se aperfeiçoar este processo para a melhoria da qualidade e redução de custos (SEVERO, 2000).

A secagem artificial, quando é executada em câmaras convencionais e seguindo um programa de secagem, busca compensar a redução na taxa de secagem do material com alterações contínuas no ambiente de secagem.

A secagem é reconhecida como um fator vital no valor agregado de produtos de madeira processada, dando-se grande importância atualmente ao aumento da qualidade e redução dos custos de secagem. A diminuição da disponibilidade de florestas nativas, assim como a valorização da madeira de florestas plantadas, realçam a necessidade de melhorar o processamento e redução dos defeitos de secagem (KLITZKE, 2007).

## 1.1 O PROBLEMA E SUA IMPORTÂNCIA

O processo de secagem artificial em câmaras permite adequar a madeira a uma umidade final apropriada, minimizando-se a movimentação dimensional proveniente das mudanças ambientais que ocorrem durante a sua utilização.

O setor de secagem da madeira no Brasil ainda é carente de profissionais qualificados. Isto se reflete nas empresas, que realizam o processo de forma inadequada, utilizando como base, muitas vezes, apenas o conhecimento empírico adquirido com a experiência dos operadores. Perante tais dificuldades, encontradas pela maioria das empresas nacionais, é de grande importância a realização de análises do processo de secagem das empresas e, assim, diagnosticar as falhas cometidas durante o processo e o quanto isso pode influenciar na qualidade final do produto.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Diagnosticar o setor de secagem artificial de madeira da Serraria Pindobas, localizada em Venda Nova do Imigrante, Espírito Santo.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Verificar as condições das câmaras e equipamentos de secagem;
- Analisar a preparação das cargas de secagem;
- Averiguar a adequação do programa de secagem utilizado;
- Avaliar a qualidade da madeira seca.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 TIPOS DE ÁGUA NA MADEIRA

A água que se encontra nas cavidades celulares é denominada água livre ou água capilar, e a contida nas paredes celulares é conhecida como água de ligação ou água higroscópica. Durante o processo de secagem da madeira, primeiramente a água capilar das camadas superficiais deixará as células, porém até que ocorra sua total evaporação, nenhuma água higroscópica deixará as paredes das mesmas (PONCE; WATAI, 1985).

A madeira ainda possui água em forma de vapor, a qual a mesma é quantitativamente desprezada, por causa da baixa densidade do vapor de água em relação aos demais tipos de água (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

### 2.2 INFLUÊNCIA DA UMIDADE NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA

A umidade influencia diretamente as propriedades físicas e mecânicas da madeira, em que a resistência, em geral, diminui com o aumento da umidade. A resistência elétrica é também influenciada pela umidade, em que de 30 até 0%, a mesma aumenta cerca de um milhão de vezes (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

De acordo com os mesmos autores, a variação no teor de água higroscópica implica em alterações nas dimensões da madeira, em que este fenômeno é denominado de retratibilidade.

### 2.3 SECAGEM DA MADEIRA

A árvore viva contém elevado teor de umidade e, uma vez abatida, começa a perder esta umidade. O processo de remoção da água da madeira é chamado de secagem, e é realizado com o objetivo de conseguir um material com melhores propriedades. Para executá-lo é necessário que o operador tenha conhecimento sobre a umidade da madeira (DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000).

A principal razão para a secagem é melhorar as propriedades da madeira e, desta forma, agregar maior valor aos produtos dela derivados. Em suma, o objetivo primordial da secagem da madeira é a geração de um produto útil, minimizando as perdas de qualidade (DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000).

A secagem da madeira no Brasil, de modo geral, além de ser pouco difundida também é pouco utilizada pelo setor industrial madeireiro. Raras são as serrarias que promovem a secagem da madeira, mesmo de forma natural em pátios de secagem e, quando a praticam, geralmente é um processo de baixa eficiência (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

A técnica de secagem da madeira de forma natural poderia reduzir cerca de 400 kg de massa da carga, para cada metro cúbico transportado. As despesas com frete e mão de obra poderiam ser amortizadas, e as áreas utilizadas para secagem nos locais de destino também seriam reduzidas. O entendimento desta prática é imprescindível, não apenas para que o desenvolvimento da indústria de produtos madeireiros ocorra de forma mais racional, mas também para que o produto possa atingir melhor qualidade, podendo assim ganhar competitividade no mercado (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Dentre as principais razões para a prática da secagem da madeira podem ser destacadas as seguintes (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985; SEVERO, 2007):

- Redução na movimentação dimensional: a secagem apropriada abaixo do PSF diminui a contração e o inchamento da madeira, minimizando os empenamentos, rachaduras e outros defeitos associados à estabilidade dimensional. Assim, a madeira pode ser produzida com maior precisão de dimensões, proporcionando melhor desempenho em serviço e resultando em um produto final de maior qualidade.
- Redução dos riscos de ataque de organismos xilófagos: estes organismos têm a madeira saturada como uma das principais fontes de alimento. O ataque dos mesmos pode comprometer severamente as propriedades mecânicas da madeira, além de alterar expressivamente sua aparência, acarretando em redução no seu valor comercial. Madeiras com teor de umidade abaixo de 20% tornam-se praticamente imunes ao ataque da maioria dos organismos xilófagos, salvo algumas exceções.
- Melhoria na aplicação de produtos preservantes, acabamentos e adesivos: a madeira abaixo de 20% de umidade é mais facilmente penetrada por produtos

químicos preservantes e retardantes de fogo, assim como também permite a aplicação de adesivos, tintas, vernizes, ceras e outros materiais de acabamento.

- Redução de custos: com a secagem, transporta-se mais madeira e menos massa de água, reduzindo-se os custos e aumentando a eficiência do transporte.
- Aumento da resistência mecânica: a secagem da madeira abaixo do PSF aumenta significativamente as propriedades mecânicas.
- Melhoria na trabalhabilidade: a madeira seca apresenta melhores resultados na usinagem quando comparada com a saturada. A presença excessiva de água na madeira também pode ser prejudicial ao maquinário.
- Fixação de pregos, parafusos e outras uniões: quando a madeira saturada perde umidade para o meio, as uniões utilizadas afrouxam e, por isso, tais uniões para fins estruturais somente devem ser efetuadas após a secagem.
- Melhoria nas propriedades de isolamento: a madeira seca possui mais espaços vazios, e isto é interessante quando se trata de isolamento elétrico e térmico.

### **2.3.1 Entablicamento e empilhamento**

O entablicamento e empilhamento inadequados são muitas vezes os maiores motivos para a deformação da madeira durante a secagem (CULPEPPER, 2000).

Os tabiques, ou sarrafos separadores, devem ter dimensões uniformes e serem livres de defeitos. O comprimento dos tabiques é o limitante para a largura da pilha de madeira, pois ele é que determina a largura da mesma. O tabique deve ser suficientemente largo para que o operador responsável pelo entablicamento consiga diferenciar a largura da espessura. A espessura é a dimensão mais importante do tabique, pois é ela que determina o espaçamento entre as camadas de madeira (CULPEPPER, 2000).

O tempo de secagem pode ser diminuído quando a espessura dos tabiques aumenta (SEVERO, 2007). A relação ideal entre espessura das peças e a seção transversal dos tabiques e o espaçamento entre eles é dado na Tabela 1 (HILDEBRAND, 1970).

Tabela 1 – Valores recomendados para as dimensões da seção dos tabiques e a distância entre eles, em função das diferentes espessuras das peças.

Espessura da peça (mm)	Espessura dos tabiques (mm)	Largura dos tabiques (mm)	Espaçamento entre os tabiques (mm)
0 ... 30	16	25	400 ... 800
30 ... 60	25	25	600 ... 1000
Acima de 60	40	40	800 ... 1200

Fonte: Hildebrand (1970, p. 61).

Após a utilização dos tabiques, deve se ter cuidado especial com o armazenamento dos mesmos até que venham a ser utilizados novamente. Estes cuidados, além de prolongar a vida útil, evitam que os tabiques possam de alguma maneira por em risco a qualidade final da madeira seca (CULPEPPER, 2000).

A classificação da madeira antes da secagem simplifica o empilhamento e também ajuda a dispor um material com características semelhantes na mesma carga na câmara. O grau de classificação depende de considerações práticas, em que a carga pode ser separada por espécie, umidade inicial, espessura e comprimento e qualidade das peças de madeira (SIMPSON, 1991).

O empilhamento além de acomodar a carga, deve facilitar a circulação do ar através das camadas de peças de madeira. Os tabiques devem ser dispostos transversalmente com relação ao comprimento das peças (KLITZKE, 2007).

Em termos de velocidade de secagem e melhor distribuição de umidade ao longo da largura da pilha, a largura máxima da pilha deve ser em torno de 2,4 metros. Os valores mais apropriados para a largura da pilha são de 1,8 a 2,1 metros (CULPEPPER, 2000).

O empilhamento pode ser realizado manual ou mecanicamente. Quando realizado por meios mecânicos, são utilizados equipamentos especialmente desenvolvidos para esta função. A altura das pilhas pode chegar a cinco metros, mas normalmente não ultrapassa 1,2 metros. Pilhas muito altas tornam-se instáveis por causa da esbeltez (KLITZKE, 2007).

Os tabiques, sempre que possível, devem ser colocados nivelados com ou muito perto das extremidades. Isto irá minimizar empenamentos nas extremidades das peças e também irá retardar a secagem destas zonas, evitando assim rachaduras de topo, e também sempre devem estar alinhados verticalmente

(SIMPSON, 1991). Na Figura 1 encontra-se uma representação do empilhamento adequado, com os tabiques devidamente alinhados entre si e com os pontaletes. Nota-se que quantidade de tabiques por camada é a mesma, e também é igual a quantidade de pontaletes.

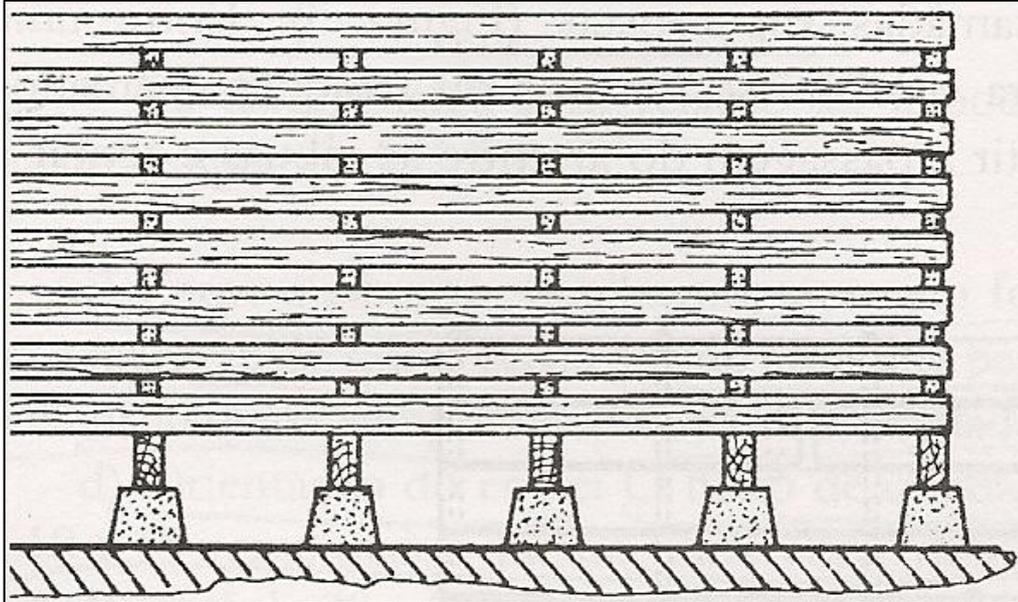


Figura 1 – Empilhamento adequado.

Fonte: Severo (2007, p. 196).

## 2.4 TÉCNICAS DE SECAGEM

### 2.4.1 Secagem natural da madeira

A secagem natural é a maneira mais simples de secar madeira, em que o processo ocorre de maneira rápida na etapa inicial, quando o teor de umidade se encontra acima do PSF, tornando-se mais lento à medida que a umidade se aproxima da umidade equilíbrio do ambiente (PONCE; WATAI, 1985).

O pátio de secagem natural deve ficar próximo ao local onde a madeira for processada. O mesmo deve estar situado em um local alto e plano, para beneficiar a circulação do ar, facilitar o empilhamento e a movimentação da carga. O local também deve ser bem drenado, sem árvores, arbustos, construções ou qualquer outra barreira que possa impedir a incidência direta dos raios solares e a circulação dos ventos (PONCE; WATAI, 1985).

Algumas desvantagens da secagem natural, citadas pelos mesmos autores: necessidade de grandes áreas para estocar a madeira; dependência das condições climáticas, sendo uma prática com pouco controle por parte do técnico; tempo de secagem elevado; teor de umidade final dependente da umidade de equilíbrio; produz madeira de pior qualidade, em relação à secagem artificial.

#### **2.4.2 Secagem artificial da madeira**

A secagem artificial, quando é executada em câmaras e seguindo um programa de secagem, busca compensar a redução na taxa de secagem do material com alterações contínuas no meio sob o qual a madeira será processada (SANTOS; JANKOWSKY; ANDRADE, 2003).

As principais vantagens da secagem de madeiras em câmaras artificiais são (CULPPEPER, 2000): possibilita reduzir a umidade mais rapidamente do que quando se faz a secagem natural; possibilita reduzir a umidade a valores abaixo daqueles conseguidos na secagem natural; quando bem realizada, valoriza a madeira em virtude da minimização ou eliminação de defeitos que geralmente ocorrem durante a secagem natural; a madeira adquire melhores condições de colagem e acabamentos posteriores; os organismos xilófagos que atacam a madeira são mortos pela alta temperatura normalmente mantida nas câmaras de secagem.

As câmaras de secagem são geralmente classificadas tomando-se como base dois critérios: o tipo de carregamento e a temperatura de operação. Classificação das câmaras de secagem quanto ao carregamento, tem como critério o tipo de carregamento, as câmaras de secagem podem ser classificadas em câmaras progressivas e câmaras de compartimento fechado. As câmaras progressivas são utilizadas em um processo contínuo, em que o empilhamento é realizado sobre vagonetes. Estes são movimentados progressivamente para frente e a madeira passa por condições mais severas de secagem, até chegar à extremidade oposta da câmara onde a madeira é retirada já convenientemente seca. A movimentação para frente ocorre pela remoção de uma carga completamente seca e a adição de uma carga de madeira saturada no início da câmara (SIMPSON, 1991).

As câmaras de compartimento fechado são aquelas em que a madeira, depois de empilhada e carregada, permanece estacionária durante todo o ciclo de secagem.

Hildebrand (1970) e Simpson (1991) diferenciaram os dois tipos de câmaras de compartimento de acordo com o tipo carregamento: carregamento por vagonetes: são câmaras mais estreitas e com sistema de aquecimento entre as pilhas, o que gera secagem mais uniforme. Estas câmaras necessitam de maior investimento inicial por causa da necessidade de piso reforçado, trilhos e vagonetes. São indicados para madeiras de fácil secagem e empresas que demandam grandes volumes de madeira seca; carregamento por empilhadeiras: são câmaras menores, indicadas para empresas que possuem pouca área disponível. Este tipo de câmara necessita de menor investimento inicial, porém há uma maior perda de tempo no carregamento e descarregamento. Se a madeira trabalhada pela empresa for de espécies de difícil secagem, esta câmara é a mais indicada.

Classificação quanto à temperatura de operação, as câmaras de secagem podem ser classificadas em câmaras a baixas temperaturas, câmaras convencionais e a altas temperaturas. Porém, neste trabalho foram estudadas apenas câmaras convencionais.

A secagem em câmaras convencionais é aquela conduzida em câmara fechada em que o ar circula pela face da madeira à velocidade de 1 a 2 m/s. As temperaturas utilizadas neste tipo de câmara variam de 40 a 100° C, em que a maioria das espécies de folhosas e uma quantidade significativa das espécies de coníferas são secadas nesta faixa de temperatura. Estas temperaturas relativamente altas, e a circulação forçada do ar, são as principais formas de acelerar o processo de secagem muito além do processo ao ar livre (PONCE; WATAI, 1985; SIMPSON, 1991).

A capacidade desse tipo de câmara está entre 10 e 150 m<sup>3</sup> e o tempo de secagem é de alguns dias, dependendo da espécie, espessura das peças, dentre outros fatores (KLITZKE, 2007).

Para aquecer estas câmaras podem ser utilizadas diversas fontes térmicas, em que as mais utilizadas são vapor de água, água quente, resistências elétricas e óleo térmico, e dentre estas, o vapor de água é o sistema de aquecimento mais utilizado pelas indústrias (KLITZKE, 2007).

As câmaras podem ser construídas com vários tipos de materiais, incluindo madeira, tijolos ou blocos de concreto, cimento, amianto, folhas de flandres e folhas de alumínio. Para o isolamento, normalmente são utilizados lã de rocha e de vidro. Escolher o material depende de vários fatores, mas principalmente da temperatura

em que será operada a câmara e de considerações econômicas (PONCE; WATAI, 1985).

Para o controle das condições ambientais e da umidade da madeira dentro das câmaras de secagem são utilizados alguns aparelhos: higrômetro – Instrumento utilizado para medir a umidade presente nos gases, mais especificamente no ar; termômetro – Instrumento capaz de medir a temperatura; psicrômetro – Aparelho constituído por dois termômetros idênticos, que se diferenciam por um deles trabalhar com o bulbo seco e o outro com o bulbo úmido. Este instrumento é utilizado para avaliar a quantidade de vapor de água contido no ar e, a partir disto, a umidade relativa; pinos sensores – São pinos metálicos, semelhantes a pregos, ligados a fios, que funcionam pelo princípio resistivo e são fixados em algumas peças da madeira da carga para medir constantemente a umidade da mesma. Com este controle automático, é possível, por meio de um *software* específico, aplicar o programa de secagem escolhido para o processo.

## 2.5 DEFEITOS DE SECAGEM

O sucesso de uma empresa e a asseguração do cargo do operador da câmara pode depender de conhecer as causas dos defeitos na madeira seca e saber os métodos para prevenir a sua ocorrência (SIMPSON, 1991).

Os defeitos nas peças que não foram observados na madeira saturada e surgiram após a operação de secagem, são chamados de defeitos de secagem e estes reduzem o valor do produto, e obviamente, um índice alto de defeitos no processo da empresa pode gerar uma perda significativa dos lucros (SIMPSON, 1991; MENDES; MARTINS; MARQUES, 1998).

Culpepper (2000) citou alguns dos principais fatores para a ocorrência de defeitos na secagem: baixa qualidade do entabamento e empilhamento; tabiques curtos ou quebrados; distribuição desigual do calor na câmara; problemas com as saídas de ar; velocidade do ar inadequada; temperaturas altas do bulbo seco.

As tensões que se desenvolvem na madeira são a causa básica dos defeitos de secagem e os principais defeitos decorrentes de um processo de secagem mal conduzido (Figura 2) são: empenamentos (encanoamento, encurvamento, arqueamento, torcimento, encurvamento complexo e forma diamante), rachaduras

(topo, superficiais e internas), colapso e endurecimento superficial (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

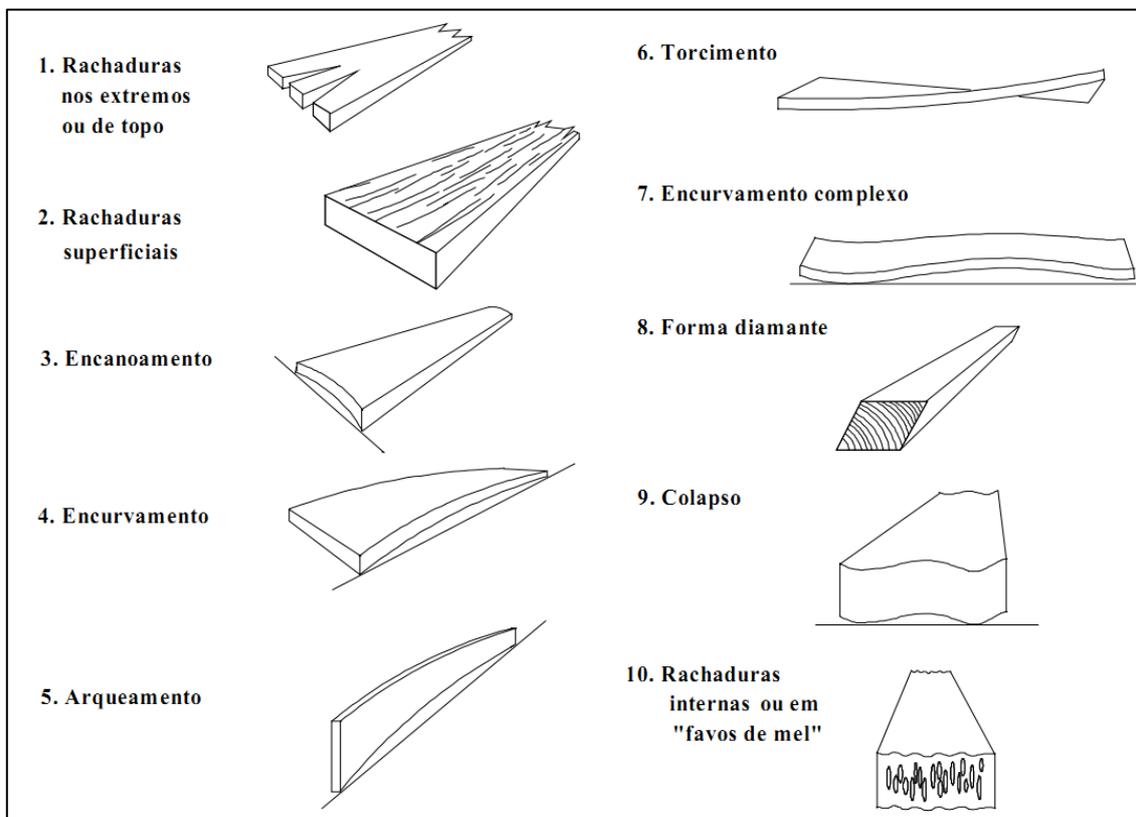


Figura 2 – Defeitos de secagem.

Fonte: Mendes, Martins e Marques (1998).

O endurecimento superficial ocorre quando as camadas superficiais da madeira perdem umidade rapidamente, enquanto o centro da peça permanece ainda úmido, podendo se desenvolver rachaduras em sua estrutura (KLITZKE, 2007).

A madeira seca também pode apresentar manchas, que são produzidas pela ação de fungos ou por alterações químicas que ocorrem com os extrativos solúveis em água. Estes defeitos de secagem são conhecidos como mancha química ou mancha marrom (KLITZKE, 2007).

## 2.6 MADEIRA DE *Pinus* sp.

Segundo o Instituto de pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT (1989), a madeira de *Pinus* sp. possui cerne e alburnos indistintos pela cor (branco/amarelado), brilho moderado; cheiro e gosto distintos e característicos

(resina), agradável; densidade baixa; macia ao corte; grã direita e textura fina. Em relação às características do processamento, a madeira é fácil de ser trabalhada e quando seca permite um bom acabamento.

### 2.6.1 Área plantada no Brasil e Espírito Santo

De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF (2012), a área plantada com *Pinus* sp. no Brasil está concentrada principalmente na região Sul (83,0%), por causa das condições de solo e de clima, e à localização dos principais centros processadores deste tipo de madeira.

Em 2011, a área total de plantios de *Pinus* sp. reduziu-se em 114,4 mil hectares (-6,5%) e os estados que apresentaram as maiores reduções absolutas da área de plantios foram Minas Gerais (-44,7%), Bahia (-19,0%), Mato Grosso do Sul (-14,3%), Espírito Santo (-28,2%) e Goiás (-11,5%) (ABRAF, 2012).

Nas Figuras 3 e 4 são apresentadas as áreas plantadas de *Pinus* sp. no Brasil e no Espírito Santo, respectivamente. Conforme observado, a área plantada vem decrescendo anualmente.

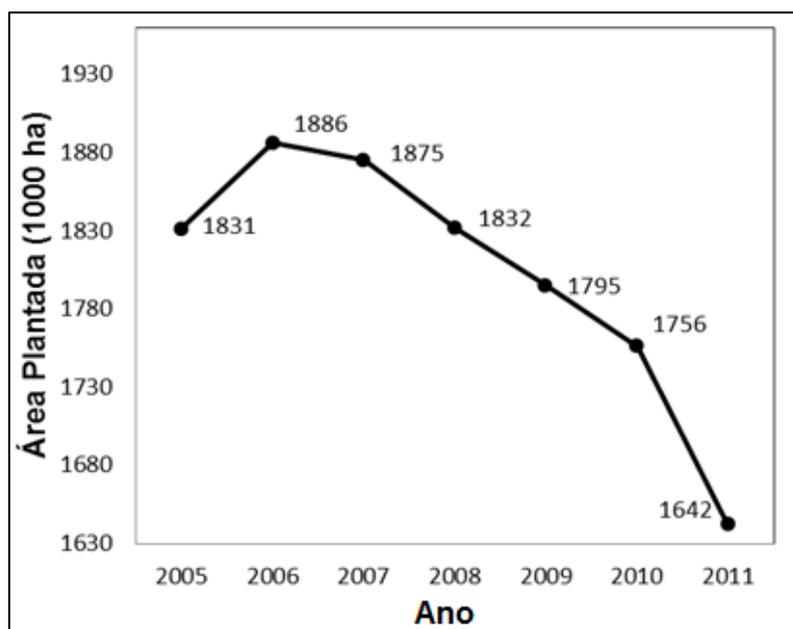


Figura 3 – Histórico da área de plantios de *Pinus* sp. no Brasil, 2005-2011.

Fonte: ABRAF (2012).

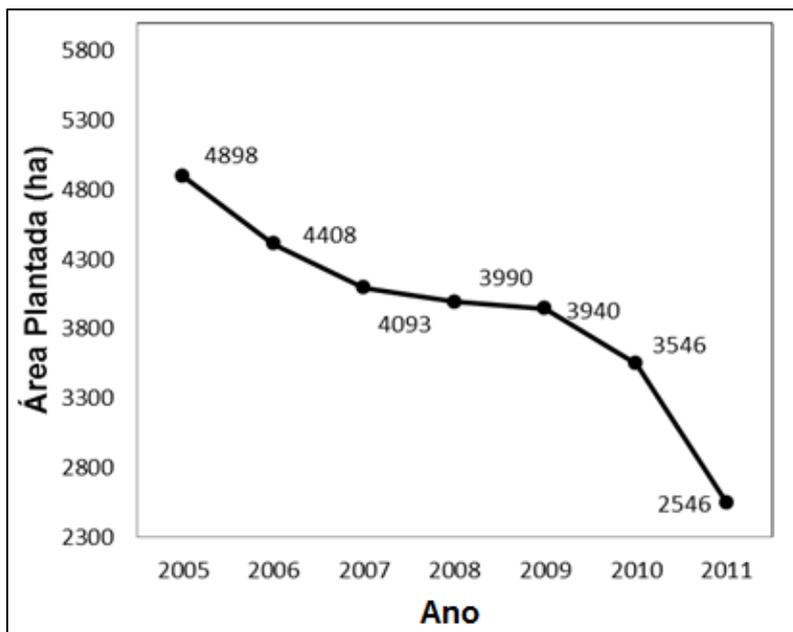


Figura 4 - Plantio de *Pinus* sp. no Espírito Santo, 2005-2011.

Fonte: ABRAF (2012).

### 2.6.2 Madeira de *Pinus* sp. e demais coníferas

São madeiras que geralmente apresentam baixa densidade, alta porosidade e boa permeabilidade, o que as tornam madeiras fáceis de serem secas. Estas características permitem o emprego de temperaturas mais elevadas de secagem, tornando o processo mais rápido, quando comparada com outras espécies, sem aumentar a incidência de defeitos de secagem (IPT, 1989).

### 2.6.3 Programas de secagem para *Pinus* sp.

Os programas de secagem consistem numa sequência estudada de temperaturas e umidades relativas, visando reduzir rapidamente a umidade da madeira até um teor pré-determinado, com o menor número possível de defeitos (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Podem ser reconhecidas três fases distintas nos programas de secagem: aquecimento inicial, secagem propriamente dita e uniformização e condicionamento (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985). Encontram-se nas Tabelas 2 a 5 alguns programas de secagem recomendados pela literatura para a madeira de *Pinus* sp.:

Tabela 2 – Programa de secagem para *Pinus* sp. com 25 mm de espessura, visando teor de umidade final de 13%.

Etapa (Umidade da Madeira)	Temperatura (°C)		Umidade (%)	
	Bulbo Seco	Bulbo Úmido	Relativa	Equilíbrio
Aquecimento	60,0	59,0	95,0	20,6
Acima de 60%	60,0	55,5	80,0	13,1
50%	60,0	54,5	75,0	12,0
40%	60,0	52,0	65,0	9,8
30%	65,0	53,0	55,0	7,7
20%	75,0	57,5	40,0	5,5
Uniformização	75,0	69,0	76,0	11,0
Condicionamento	75,0	73,0	92,0	16,0

Fonte: Galvão e Jankowsky (1985).

Tabela 3 – Programa de secagem para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com até 28 mm de espessura.

Etapa (Umidade da Madeira)	Temperatura (°C)		Umidade (%)	
	Bulbo Seco	Bulbo Úmido	Relativa	Equilíbrio
Aquecimento	55,0	54,0	95,0	21,0
Acima de 50%	55,0	51,5	82,0	14,6
50%	55,0	50,5	82,0	13,0
40%	55,0	48,0	66,0	10,3
30%	55,0	45,5	56,0	8,5
25%	63,0	51,0	51,0	7,3
20%	71,0	54,0	42,0	5,7
15%	80,0	56,0	32,0	4,2
10%	80,0	50,0	22,0	2,9
5%	80,0	41,0	11,0	1,5

Fonte: Andrade (2000).

Tabela 4 – Programa de secagem para *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, para uma qualidade de secagem regular.

Etapa (Umidade da Madeira)	Temperatura (°C)		Umidade (%)	
	Bulbo Seco	Bulbo Úmido	Relativa	Equilíbrio
Acima de 40%	76,5	68,5	69,0	9,3
40%	76,5	65,5	60,0	7,7
35%	76,5	62,5	52,0	6,6
30%	82,0	65,5	47,0	5,7
25%	82,0	62,5	41,0	5,0
20%	87,5	68,5	43,0	5,0
15%	87,5	60	28,0	3,5

Fonte: Boone et al. (1988).

Tabela 5 – Programa de secagem para madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, para uma alta qualidade de secagem.

Etapa (Umidade da Madeira)	Temperatura (°C)		Umidade (%)	
	Bulbo Seco	Bulbo Úmido	Bulbo Seco	Bulbo Úmido
Acima de 40%	60,0	56,0	82,0	14,2
40%	60,0	54,5	75,0	12,0
35%	60,0	51,5	64,0	9,6
30%	65,5	51,5	49,0	6,8
25%	71,0	54,5	43,0	5,8
20%	76,5	49,0	24,0	3,5
15%	82,0	54,5	26,0	3,5

Fonte: Boone et al. (1988).

### 3 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado na Serraria Pindobas, localizada em Venda Nova do Imigrante, Sul do estado do Espírito Santo. Foi realizado um diagnóstico do setor de secagem artificial de madeira em cinco etapas: análise geral, preparação da carga para secagem, câmaras de secagem, programa de secagem e avaliação da qualidade da madeira seca.

A serraria possui três câmaras de secagem idênticas e a câmara utilizada para os estudos foi a Câmara 01, ilustrada junto com todo o setor de secagem na Figura 5.

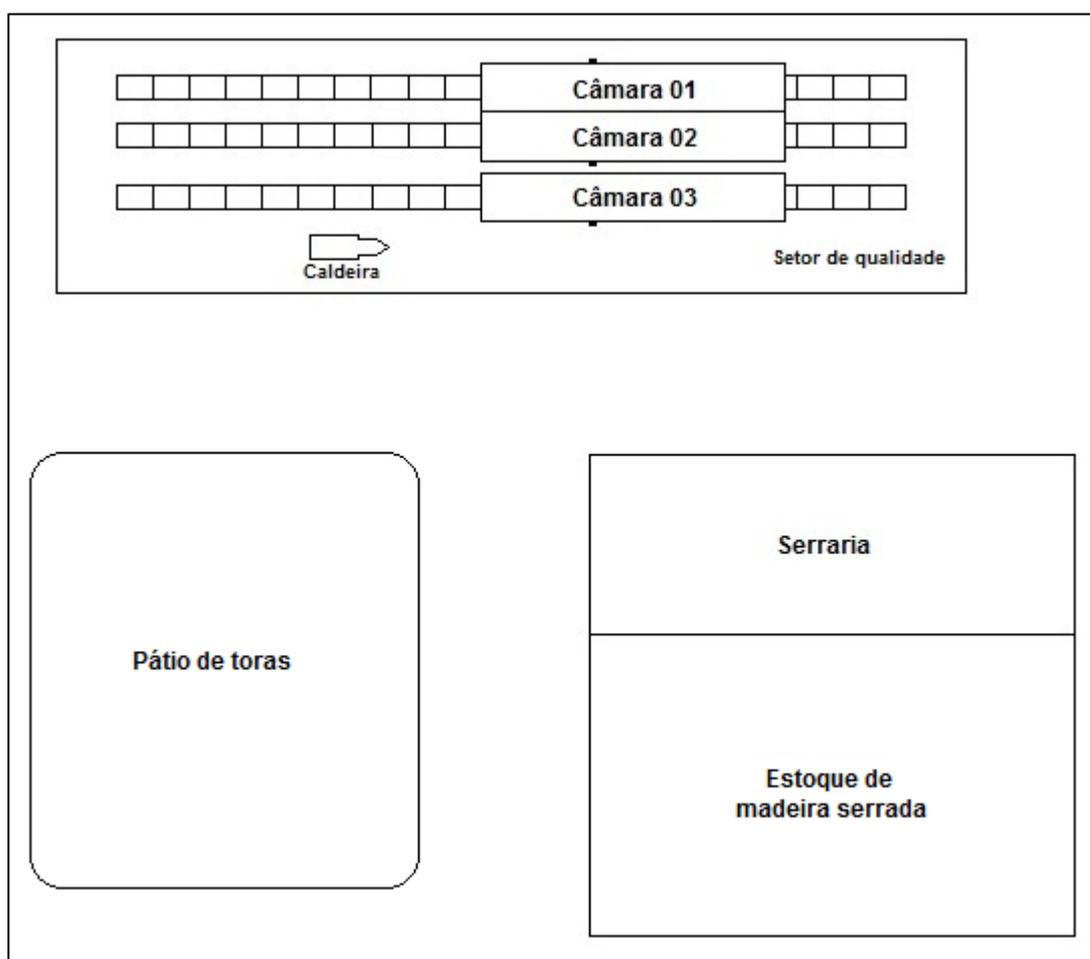


Figura 5 – Setor da serraria avaliado no estudo.

Para obter todas as informações foi criado um questionário (Apêndice A) que foi preenchido mediante observação direta do processo e relato oral dos operários.

### 3.1 ANÁLISE GERAL

Nesta etapa foi realizada uma análise global do processo de secagem artificial, obtendo-se as seguintes informações:

- Tipo de câmara e tipo de controle (manual, automático ou semiautomático);
- Matéria-prima utilizada;
- Produto final a que se destina a matéria-prima;
- Dimensões das peças;
- Umidade inicial e umidade final desejada no processo;
- Mão de obra disponível no setor de secagem.

### 3.2 PREPARAÇÃO DA CARGA PARA SECAGEM

#### 3.2.1 Empilhamento da madeira

Nesta etapa foi analisada a forma com que é realizado o empilhamento das cargas, em que foram analisados os fatores:

- Tipo de empilhamento: manual, automático ou semiautomático;
- Espécie utilizada na confecção dos tabiques e pontaletes;
- Qualidade e dimensões dos tabiques e pontaletes;
- Distribuição dos tabiques e pontaletes nas camadas das pilhas;
- Forma e dimensões das pilhas.

O volume das pilhas e o volume total da carga foram calculados a partir das Equações 1 e 2, respectivamente:

$$V_p = N \times E \times L \times C \quad (1)$$

$$V_t = N_p \times V_p \quad (2)$$

em que:

$V_p$ : volume da pilha ( $m^3$ );

$N$ : número de camadas de madeira por pilha;

$E$ : espessura das peças (m);

L: largura da pilha (m);

C: comprimento da pilha (m);

Vt: volume total da carga (m<sup>3</sup>);

Np: número de pilhas.

### **3.2.2 Carregamento da câmara de secagem**

Nesta etapa foi analisado o tipo de carregamento da câmara (vagonetes ou empilhadeiras), e se o mesmo era realizado de maneira correta, sem afetar a conformação das pilhas.

## **3.3 CÂMARAS DE SECAGEM**

Nesta etapa foram avaliadas as condições das câmaras de secagem, dando-se atenção às instalações físicas e aos sistemas que as compõem:

- Piso, portas e paredes;
- Aspectos de segurança;
- Isolamento térmico;
- Sistemas de aquecimento, umidificação e circulação de ar;
- Termômetros, higrômetros e pinos sensores.

## **3.4 PROGRAMA DE SECAGEM**

Nesta etapa foram avaliados os programas de secagem utilizados pela empresa, analisando-se a adequação dos mesmos à espécie, dimensões das peças a secar, umidade inicial, umidade final e qualidade final desejada.

## **3.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA SECA**

Por último, foi avaliada a qualidade da madeira seca, a partir de um processo de seleção manual, no qual os operários do setor de qualidade por meio de uma avaliação visual separaram as peças que apresentaram defeitos, empenamentos e rachaduras, das peças que atendiam os requisitos demandados pelo cliente.

Após a separação foi realizado o cálculo do volume de madeira com defeitos de secagem para verificar o quanto de matéria-prima foi perdido durante o processo de secagem.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE GERAL

As câmaras de secagem utilizadas no processo da empresa são câmaras de secagem convencionais de compartimento fechado com controle totalmente manual. As matérias-primas utilizadas no processo foram *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* e o produto final se destinou a uma empresa que tem como finalidade utilizar a madeira para a confecção de componentes internos de portas.

Foram secas no processo três tipos de peças, com as seguintes dimensões: 30 x 120 x 2200 mm; 30 x 160 x 2200 mm; 30 x 200 x 2200 mm.

Por apresentarem a mesma espessura, não houve problemas em realizar a secagem dos três tipos de peças em uma mesma carga. As peças foram produzidas a partir de toras que estavam estocadas no pátio há algum tempo, portanto, a madeira entrou no processo com umidade próxima a 35%. A umidade final desejada no processo era de 12 a 14%, por causa das exigências estabelecidas pela empresa contratante dos serviços da empresa.

Os profissionais do setor de secagem, em especial os operadores da caldeira, não possuem qualificação técnica, porém têm muita experiência e grande conhecimento empírico quanto à secagem de madeira.

### 4.2 PREPARAÇÃO DA CARGA PARA SECAGEM

#### 4.2.1 Empilhamento da madeira

O empilhamento da carga foi todo realizado de forma manual. Os tabiques e pontaletes utilizados foram confeccionados a partir de madeira de *Pinus* sp. e apresentavam dimensões médias de 25 x 50 x 1700 mm e 75 x 100 x 1700 mm, respectivamente. A maioria dos tabiques e pontaletes utilizados apresentavam defeitos como arqueamento, encanoamento, rachaduras de topo e longitudinais.

As pilhas possuíam 1700 x 1950 x 2200 mm (largura x altura x comprimento) e foram montadas utilizando-se cinco tabiques por camada, com distância entre os mesmos variando de 36 a 66 cm. Na base das pilhas foram utilizados três pontaletes apresentando uma variação da distância entre os mesmos de 88 a 98 cm.

Em geral o empilhamento não foi correto, pois devem ser utilizados tabiques livres de defeitos para que a circulação de ar seja o mais homogênea possível. Considerando o comprimento da pilha, o número de tabiques por camada estava adequado, porém o número de pontaletes deveria ser o mesmo que o número de tabiques e os mesmos deveriam estar alinhados verticalmente, porque esta medida evita problemas de empenamento durante o processo.



Figura 6 – Visão lateral da carga empilhada sobre um dos vagonetes.

#### **4.2.2 Carregamento da câmara de secagem**

O carregamento da câmara foi realizado por vagonetes, os quais após o empilhamento da madeira, os mesmos foram empurrados por um trator para dentro da câmara, onde permaneceram até o fim do processo de secagem. O carregamento não apresentou resultados negativos no que se diz respeito a conformação das pilhas dentro da câmara.



Figura 7 – Carga pronta sobre um dos vagonetes.

#### 4.3 CÂMARAS DE SECAGEM

A avaliação consistiu da atribuição de uma classificação qualitativa para cada quesito, em que estes foram classificados: ruim, regular, bom, ótimo e excelente.

- Piso

O piso da câmara apresenta algumas irregularidades, porém estas não interferem no nivelamento dos trilhos. Assim o piso da câmara foi classificado como “Regular”.

- Portas

As portas, assim como o piso, estão um pouco desgastadas e também foram classificadas como “Regular”.

- **Paredes**

As paredes apresentam desgaste em seu reboco e algumas rachaduras superficiais, o que pode ocasionar perda no isolamento, portanto, as mesmas foram classificadas como “Ruins”.
- **Aspectos de segurança**

A câmara não apresentou riscos a integridade física dos funcionários, porque uma vez que a carga é estacionada, ninguém mais entra na câmara, assim não há muitos riscos. Entretanto, por ser uma câmara antiga, deveriam ser encontrados mais extintores de incêndio nos arredores. Desta forma, os aspectos de segurança foram classificados apenas como “Bons”.
- **Isolamento térmico**

Por causa do estado das portas, paredes e das frestas entre a porta e o piso, o isolamento térmico recebeu a classificação de “Regular”.
- **Sistema de aquecimento**

De acordo com o levantamento de informações realizado com o operador da caldeira, o sistema de aquecimento está funcionando corretamente e a caldeira está sendo suficiente para suprir a necessidade das três câmaras existentes no setor de secagem. Também existe um programa de manutenção da caldeira que vem sendo adequadamente cumprido, assim, o sistema de aquecimento foi classificado como “Ótimo”.
- **Sistema de umidificação**

Não foi possível realizar a classificação do mesmo, pois não haveria como estar dentro da câmara com a mesma em funcionamento.
- **Sistema de Circulação de ar**

O sistema de circulação de ar foi classificado como “Bom”. Os ventiladores estão funcionando corretamente, porém a abertura dos dampers é feita manualmente, portanto, não possui tanta precisão.

Nas Figuras 8 a 13 encontram-se imagens dos itens analisados na câmara de secagem avaliada.



Figura 8 – Câmara de secagem – avaliação do piso e paredes.



Figura 9 – Porta da câmara de secagem.



Figura 10 – Sistema de aquecimento – trocadores de calor tipo tubos aletados.



Figura 11 – Sistema de aquecimento – caldeira para geração de vapor.



Figura 12 – Sistema de circulação de ar – ventilador.



Figura 13 – Sistema de circulação de ar – damper.

#### 4.4 PROGRAMA DE SECAGEM

A troca das fases do programa de secagem é feita manualmente, em que o operário faz o acompanhamento de hora em hora da temperatura de bulbo seco, e quando a mesma atinge 66 °C, o operário abre os dampers para que saia o ar úmido e entre o ar fresco. Após abrir os dampers, o operário mantém o acompanhamento para garantir que a temperatura de bulbo seco continue aumentando gradualmente até uma temperatura final aproximada a 90°C. Na Tabela 6 encontra-se o programa de secagem utilizado pela empresa.

Tabela 6 – Programa de secagem utilizado na empresa para *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, visando teor de umidade final de 12%.

Tempo (h)	Temperatura (°C)		Umidade (%)	
	Bulbo Seco	Bulbo Úmido	Relativa	Equilíbrio
-	40,0	36,0	14,1	77,0
1	44,0	40,0	14,0	77,0
2	52,0	48,0	14,0	79,0
3	58,0	54,0	12,5	77,0
4	62,0	58,0	12,5	77,0
5	68,0	60,0	9,5	66,0
8	70,0	62,0	9,5	67,0
11	74,0	64,0	8,5	63,0
13	74,0	70,0	13,0	83,0
33	76,0	72,0	13,0	83,0
37	78,0	72,0	11,0	77,0
39	82,0	78,0	11,0	77,0
42	86,0	80,0	11,0	78,0
45	86,0	82,0	12,5	84,0
60	86,0	82,0	12,5	84,0

O programa de secagem utilizado não é o mais indicado para a espécie beneficiada pela empresa e também não se adequa à umidade inicial da carga, pois com dados da literatura é possível perceber que se pode aumentar a temperatura inicial, reduzindo assim o tempo do processo consideravelmente.

Como não há pinos sensores, nem mesmo amostras controladoras de secagem, não há controle da umidade da carga durante o processo. O controle é feito de forma expedita, em que o operário verifica as condições de umidade da carga colocando a mão na câmara através de uma escotilha localizada no centro da porta e verificando apenas com o tato se o ar presente na câmara está úmido ou não. Os únicos equipamentos de controle existentes na câmara são os termômetros de bulbo seco e bulbo úmido e os mesmos estão funcionando corretamente (Figura 14).

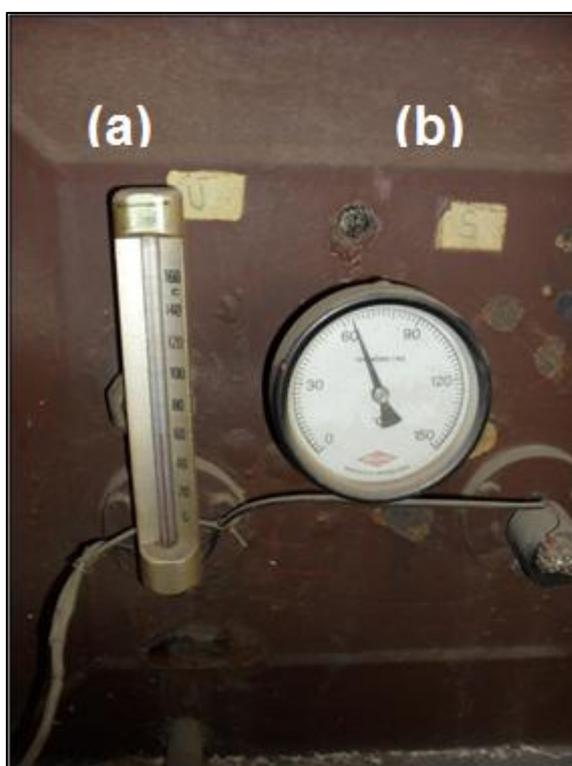


Figura 14 – Termômetros de bulbo úmido (a) e bulbo seco (b).

#### 4.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SECAGEM DA MADEIRA

O volume da carga após o processo foi de 23,72 m<sup>3</sup>. A separação de peças defeituosas no setor de qualidade resultou em uma pilha de 2,00 m<sup>3</sup> de peças com defeito (Figura15), ou seja, 8,4% da carga. Nesta pilha também se encontravam peças que já eram consideradas madeira de segunda qualidade antes mesmo de passar pelo processo de secagem (peças com casca ou fora das dimensões desejadas) e estas peças representavam 37% da pilha de madeira defeituosa.

Assim, o volume de madeira defeituosa resultante exclusivamente do processo de secagem foi de 1,26 m<sup>3</sup>, ou seja, 5,3% de toda a carga seca.

Levando em consideração as condições da câmara, o empilhamento e a falta de controle da umidade da carga, a porcentagem de madeira defeituosa foi baixa, e isto pode ser explicado pela utilização de um programa de secagem brando com temperaturas mais baixas do que as normalmente utilizadas para a espécie.

Figura 15 – Pilha de peças defeituosas.



As peças classificadas como madeira de segunda foram encaminhadas para outro cliente, que compra as mesmas por um valor inferior para fazer componentes internos de móveis (fundos de gaveta, armação para sofá e cadeiras revestidas).

#### 4.6 AVALIAÇÃO GERAL DO SETOR DE SECAGEM

Apesar de uma baixa porcentagem do material ter apresentado defeitos oriundos do processo de secagem, 5,3% da carga seca, a avaliação geral do setor de secagem da empresa foi negativa, em função das falhas durante o processo principalmente no empilhamento, no controle da umidade da carga durante o processo e na escolha do programa de secagem utilizado pela empresa.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- Em função das inconformidades observadas no empilhamento da carga, a preparação da mesma é considerada inadequada e favorável para empenamento das peças durante o processo de secagem.
- As câmaras, por serem antigas, estão com suas estruturas e componentes desgastados, o que torna o processo ineficiente e acarreta em perdas de energia, principalmente quanto ao isolamento térmico.
- O programa de secagem utilizado pela empresa é inadequado para o processo, aumentando consideravelmente o tempo do ciclo e, assim, os custos de secagem.
- O índice de defeitos da madeira seca está dentro do esperado, de acordo com as condições de secagem. Porém, a empresa não tem perdas consideráveis no processo, porque até mesmo a madeira defeituosa é comercializada para outros fins.

Com base nas conclusões apresentadas, recomenda-se:

- Que os tabiques sejam dispostos verticalmente alinhados e também que haja quantidade igual de pontaletes e tabiques.
- Utilização de um gabarito para auxiliar os operários no momento do empilhamento.
- Confecção de novos tabiques e pontaletes a partir de madeiras mais densas que a espécie utilizada no processo.
- A realização de reparos nas instalações e equipamentos da câmara, e criar um planejamento de manutenção preventiva para os mesmos.
- A implantação do controle da umidade da carga, seja por amostras de controle (manual), seja por pinos sensores (automatizado).
- A modificação do programa de secagem, adequando-o a espécie, umidade inicial e a qualidade final desejada.
- A contratação de profissionais especializados no processamento de madeira sólida.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF – Associação Brasileira de Produtos de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF 2012: Ano base 2011**. Disponível em : < <http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp> >. Acesso em: 19 maio 2012.

ANDRADE, A. **Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras**. 2000. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

BOONE, R.S.; KOZLIK, C.J.; BOIS, P.J.; WENGERT, E.M. **Dry kiln schedules for commercial woods: temperate and tropical**. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1988.

CULPEPPER, L. **Softwood drying: Enhancing Kiln Operations**. San Francisco: Miller Freeman, 2000.

DENIG, J.; WENGERT, E. M.; SIMPSON, W. T. **Drying hardwood lumber**. Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2000.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985.

HILDEBRAND, R. **Kiln drying of sawn timber**. Berlin: Maschinenbau GmbH, 1970.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Sistema de informações de madeiras brasileiras**. São Paulo, 1989.

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro: Suprema, 2007. cap. 7, p. 271-342.

MENDES, A.S.; MARTINS, V.A.; MARQUES, M.H.B. **Programas de secagem para madeiras brasileiras**. Brasília, 1998.

PONCE, R. H.; WATAI, L. T. **Manual de secagem da madeira**. São Paulo: IPT/STI, 1985.

SANTOS, G. R. V.; JANKOWSKY, I. P.; ANDRADE, A. Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n.63, p.214-220, 2003.

SEVERO, E. T. D. Qualidade da secagem de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 109-124, 2000.

SEVERO, E. T. D. A secagem da madeira de eucalipto e seus desafios. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Org.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro II**. Vitória: Aquarius, 2007. cap. 7, p. 185-216.

SIMPSON, W. T. **Dry kiln operator's manual**. Madison: USDA Agricultural Handbook AH-188, 1991.

# APÊNDICE

## **APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA OBTENÇÃO DE DADOS**

### **1 ANÁLISE INICIAL**

Tipo de câmara de secagem:

Tipo de controle:

Matéria-prima utilizada:

Produto final a que se destina a matéria-prima:

Dimensões das peças:

Umidade inicial:

Umidade final desejada no processo:

Mão de obra disponível no setor de secagem:

### **2 PREPARAÇÃO DA CARGA PARA SECAGEM**

#### **2.1 EMPILHAMENTO**

Tipo de empilhamento:

Espécie utilizada na confecção dos tabiques:

Espécie utilizada na confecção dos pontaletes:

Qualidade e dimensões dos tabiques:

Qualidade e dimensões dos pontaletes:

Distância entre os tabiques nas camadas das pilhas de madeira:

Forma e dimensões das pilhas:

#### **2.2 CARREGAMENTO**

Tipo de carregamento da câmara:

O carregamento afeta a conformação das pilhas dentro da câmara?

Sim ( ) Não ( )

### 3 CÂMARAS DE SECAGEM

Estado do piso:

Excelente ( ) - Ótimo ( ) - Bom ( ) – Regular ( ) – Ruim ( )

Estado das portas:

Excelente ( ) - Ótimo ( ) - Bom ( ) – Regular ( ) – Ruim ( )

Estado das paredes:

Excelente ( ) - Ótimo ( ) - Bom ( ) – Regular ( ) – Ruim ( )

Aspectos de segurança:

Excelente ( ) - Ótimo ( ) - Bom ( ) – Regular ( ) – Ruim ( )

Isolamento térmico:

Excelente ( ) - Ótimo ( ) - Bom ( ) – Regular ( ) – Ruim ( )

Sistema de aquecimento:

Excelente ( ) - Ótimo ( ) - Bom ( ) – Regular ( ) – Ruim ( )

Sistema de umidificação:

Excelente ( ) - Ótimo ( ) - Bom ( ) – Regular ( ) – Ruim ( )

Sistema de circulação de ar:

Excelente ( ) - Ótimo ( ) - Bom ( ) – Regular ( ) – Ruim ( )

### 4 PROGRAMA DE SECAGEM E EQUIPAMENTOS DE CONTROLE

O programa de secagem utilizado está adequado a espécie, dimensões das peças a secar, umidade inicial, umidade final e qualidade final desejada?

Sim ( ) Não ( )

### 5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SECAGEM DA MADEIRA

Comparação entre a umidade final desejada e umidade final obtida:

Maior ( ) Igual ( ) Menor ( )

Gradiente de umidade entre peças:

Gradiente de umidade dentro de uma mesma peça: