

BIODEGRADAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA MADEIRA
4ª edição: abril / 2.013
Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR
Prof. Dr. João Carlos Moreschi

BIODEGRADAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA MADEIRA

2.013

VOLUME III

Métodos de Tratamento da Madeira



A presente apostila foi elaborada para fins didáticos e seu download e cópia estão disponíveis para qualquer pessoa interessada. Contudo a alteração de seu conteúdo, a transcrição da totalidade ou parte de seu texto, bem como a tradução total ou parcial não estão autorizadas, exceto se devidamente citada sua fonte.

SUMÁRIO - VOLUME III

ITEM	PÁG I NA
1. INTRODUÇÃO.....	79
2. Métodos Simples ou de Baixos Custos de Investimento.....	80
2.1. Tratamento por pincelamento - madeira seca.....	81
2.2. Tratamento por pulverização - madeira seca.....	83
2.3. Encharcamento da madeira – imersão da madeira seca.....	85
2.4. Tratamento com aplicação de graxas - madeira seca.....	86
2.5. Métodos de tratamento por substituição de seiva	87
2.5.1. Tratamento por capilaridade ou transpiração radial - “madeira verde”	87
2.5.2. Tratamento pelo Processo Boucherie Modificado- “madeira verde”	90
2.6. Tratamento da madeira por difusão	93
2.6. 1. Tratamento da madeira por difusão	93
2.6.2. Tratamento por difusão dupla - “madeira verde”	95
2.7. Tratamento temporário da madeira - madeira verde.....	97
2.8. Banho quente-banho frio - madeira seca.....	103

ITEM	PÁG I N A
3. Tratamento da madeira em autoclave.....	106
3.1. Processo Gewecke.....	108
3.2. Processo duplo-vácuo	109
3.3. Processo Bethell.....	112
3.4. Processo Lowry.....	115
3.5. Processo Rüeping.....	118
3.6. Outros processos de tratamento sob pressão de importância.....	121
3.6.1. Processo MSU - madeira seca a \cong 30% U.....	121
2.6.2. Processo Cellon[®] ou Drilon 30	124

LISTA DE FIGURAS – VOLUME III

FIGURA	PÁG I NA
1. Tratamento por pincelamento e proteção pessoal utilizada.....	82
2. Tratamento por pulverização e proteção pessoal utilizada.....	84
3. Representação de graxa aplicada em material engastado e da sua penetração lenta e progressiva na madeira.....	86
4. Indicações onde se aplica preservativo graxo em peças encaixadas	87
5. Representação gráfica do método de tratamento da madeira por capilaridade.....	88
6. Conexão de borracha sanfonada inflável, revestida por uma capa metálica (esquerda) e; conexão com mangueiras para alimentação de solução preservativa e injeção de ar comprimido (direita).....	91
7. Instalação necessária para o tratamento da madeira pelo Processo Boucherie modificado.....	92
8. Esquema do tratamento temporário da madeira por imersão.....	101
9. Esquema do tratamento temporário em túnel de aspersão: Vista geral e corte transversal do túnel.	102
10. Equipamento usado no tratamento da madeira pelo processo banho quente – banho frio	104
11. Desenho esquemático de uma planta de tratamento de madeira típica.....	107
12. Autoclave cilíndrica em uso comercial.....	107

FIGURA	PÁG I NA
13. Vista do Processo Gewecke em execução	109
14. Esquema do programa de tratamento preservativo pelo processo Duplo-vácuo.	110
15. Esquema do programa de tratamento preservativo pelo Processo Bethell.....	113
16. Esquema do programa de tratamento preservativo pelo Processo Lowry.....	116
17. Esquema do programa de tratamento preservativo pelo Processo Rüeping.....	119
18. Esquema do programa de tratamento preservativo pelo Processo MSU.....	122

LISTA DE TABELAS – VOLUME III

TABELA	PÁGINA
1. TRATAMENTOS EFETUADOS ATRAVÉS DO CONVÊNIO IPT-IF E RESULTADOS OBTIDOS PELO MÉTODO DE DIFUSÃO DUPLA, EM MOURÕES DE <i>EUCALYPTUS SALIGNA</i> .*	97
2. DESCRIÇÃO DAS AÇÕES E OCORRÊNCIAS DURANTE O TRATAMENTO DA MADEIRA PELO PROCESSO DUPLO-VÁCUO.....	111
3. DESCRIÇÃO DE AÇÕES E OCORRÊNCIAS DURANTE O TRATAMENTO DA MADEIRA PELO PROCESSO BETHELL	114
4. DESCRIÇÃO DE AÇÕES E OCORRÊNCIAS DURANTE O TRATAMENTO DA MADEIRA PELO PROCESSO LOWRY	117
5. DESCRIÇÃO DE AÇÕES E OCORRÊNCIAS DURANTE O TRATAMENTO DA MADEIRA PELO PROCESSO RÜEPING	120
6. DESCRIÇÃO DE AÇÕES E OCORRÊNCIAS DURANTE O TRATAMENTO DA MADEIRA PELO PROCESSO MSU	122
7. VANTAGENS E DESVANTAGENS COM A UTILIZAÇÃO DO PROCESSO CELLON®	125

ANEXO

ALGUNS TIPOS DE CILINDROS DE PRESERVAÇÃO, OBJETIVANDO DIFERENTES TIPOS DE TRATAMENTOS DA MADEIRA

FIGURA	PÁG I NA
1. Planta de tratamento com autoclave de seção transversal retangular, utilizada para o tratamento da madeira pelo processo duplo-vácuo	127
2. Planta de tratamento com autoclave de seção transversal circular, utilizada para tratamentos da madeira por processos que utilizam vácuo e pressão	127
3. Planta de tratamento com autoclave de seção transversal circular, utilizada para o tratamento da madeira pelo Processo Poulain, com movimento rotatório para colocá-la na vertical, permitindo tratamento adicional de creosoto na parte basal de postes	128

MÉTODOS DE TRATAMENTOS PRESERVATIVOS

1. Introdução

O tratamento preservativo da madeira visa obter extensão da vida útil da madeira em serviço, ou de produtos confeccionados de madeira, por meio de aplicação de produtos que previnam o ataque de agentes deterioradores, principalmente os de origem biológica.

Para a aplicação de preservativos podem ser utilizados desde métodos simples a bem sofisticados, mas independente do método de tratamento, os resultados a serem alcançados têm que atender plenamente os objetivos do tratamento efetuado, para assegurar a proteção da madeira.

Além de uma variedade de métodos simples existem os métodos de tratamento preservativo para madeira realizados em autoclave, para tratá-la com maior rapidez e eficiência e alcançar o que se denominam "resultados do tratamento", que conferem a qualidade de um tratamento no que se refere às variáveis alcançadas no material tratado.

A "resultados do tratamento" consideram-se três requisitos indispensáveis sobre o material tratado, que deverão ser satisfeitos de forma conjunta para garantir a sua qualidade, em relação àqueles necessários para um bom desempenho da madeira tratada em serviço, quais sejam:

- **Penetração** do produto preservativo, a partir da superfície da madeira, em centímetros: variável de uma camada extremamente delgada a bastante profunda, a partir da superfície da madeira, predefinida em função do tipo de madeira e da utilização a ser dada à madeira tratada, bem como ao tipo de agente a que ela estará suscetível durante a sua utilização;
- **Retenção** do produto preservativo na porção de madeira que recebeu o tratamento, em quilogramas por metro cúbico: variável predefinida em função da espécie de madeira, tipo de utilização a ser dada à madeira tratada e de agente xilófago a que a madeira ficará exposta durante a sua utilização e;
- **distribuição homogenia** do produto na madeira tratada: uma necessidade para termos material tratado uniformemente, sem regiões pobremente tratada ou com tratamento excessivo que, em ambas a situações, redundam em tratamento inadequado.

2. Métodos Simples ou de Baixos Custos de Investimento

Existem inúmeras situações de emprego da madeira que exigem adequado tratamento para prevenir a deterioração por agentes biológicos deste material. Contudo, nem sempre é possível tratá-lo com métodos sofisticados, principalmente devido ao custo de transporte do local de corte às usinas de preservação mais próximas, e destas ao local onde a madeira será utilizada.

Considerando-se o exposto acima, na maior parte das vezes se faz opção pela utilização de métodos de tratamento simples, onde o produto preservativo normalmente é aplicado à madeira no próprio local de emprego do material tratado. Todavia, embora o método a ser adotado possa ser considerado simples, a sua utilização só se justificaria se o material for convenientemente tratado, cujo resultado confira a este uma extensão de vários anos em uso.

As diversas formas de tratar a madeira, descritas a seguir, embora consideradas simples, permitem obter bons resultados em termos de extensão de vida útil da madeira em uso, mas para se lograr êxito, é indispensável entendê-las em detalhes, especialmente sobre o mecanismo de penetração do produto preservativo e de como conseguir a introdução de uma quantidade desejada de produto na madeira para a obtenção da proteção desejada.

Em outras palavras, independente do método de preservação a ser adotado, em todos eles procura-se obter resultados que promovam o aumento de vida útil do material tratado para uma utilização específica, estes relacionados à: a) profundidade de penetração do produto preservativo, a partir da superfície da madeira; b) retenção, em termos de massa de produto por volume de madeira tratada, e; c) uniformidade de distribuição. Estas três variáveis são apresentadas novamente, com mais ênfase, no início do próximo capítulo.

O atendimento adequado das variáveis supracitadas, de forma geral é conseguido com mais sucesso pelos métodos mais sofisticados, haja vista que tais sofisticações tenham sido feitas gradativamente para melhor alcançar os resultados desejados. No entanto, muitos métodos simples são suficientemente capazes de alcançá-los, dependendo das demais variáveis envolvidas, como a permeabilidade e bitola da madeira, forma física, etc., tipo de solução preservativa, temperatura, entre outras a serem consideradas para a obtenção dos resultados almejados.

2.1. Tratamento por pincelamento - madeira seca

O tratamento preservativo da madeira por pincelamento refere-se a um procedimento simples, aparentemente sem necessidade de maiores preocupações, senão a de aplicar um produto preservativo líquido ou dissolvido em algum tipo de solvente, na superfície da peça que se pretende tratar. No entanto, para se alcançar a qualidade de tratamento desejada, há que se considerar alguns detalhes do tratamento tidos como de alta importância, no sentido de se conseguir adequadas penetração e retenção, e distribuição homogênea do produto na madeira.

Considerando-se haver diferentes situações de uso da madeira tratada, a primeira preocupação é a escolha do produto correto. Características como toxicidade ao usuário da madeira tratada, viscosidade, cor, odor, compatibilidade com tintas e vernizes, etc., todas são importantes no sentido de assegurar a proteção almejada e as qualidades específicas exigidas para o uso da madeira tratada. Deve-se também levar em conta a espécie de madeira e os agentes biológicos a que ela é suscetível, a sua permeabilidade e a profundidade de tratamento requerida para impedir o ataque pelos organismos xilófagos que poderão ocorrer na situação de uso da madeira a ser tratada.

Em algumas situações, o tratamento por pincelamento objetiva unicamente a proteção superficial da madeira. Neste caso, a simples aplicação de um produto compatível com o uso do material tratado, dentro das recomendações dadas pela empresa que o fornece, deverá atender o objetivo do tratamento. Em outras situações de uso da madeira há necessidade de tratá-la a maiores profundidades, em decorrência de futuro desenvolvimento de fendas superficiais na peça colocada em uso, que expõem o material do interior não tratado a agentes xilófagos, ou por outras razões.

Para situações de uso da madeira que exijam maiores profundidades de penetração do produto preservativo, é imprescindível a utilização de maiores quantidades de soluções, proporcionalmente à espessura da camada de madeira a ser tratada para uma dada espécie florestal. No entanto, ao se aplicar a quantidade de solução, é também necessário distribuí-la de forma homogênea sobre a superfície da peça a ser tratada, sem perdas por escorrimento ou outras razões, e utilizá-la na concentração correta em função da retenção requerida para assegurar a proteção desejada.

A figura 1 apresentada a seguir mostra a simplicidade do tratamento preservativo por pincelamento e a necessidade de pouca proteção pessoal para evitar contaminação de quem efetua o tratamento da madeira.

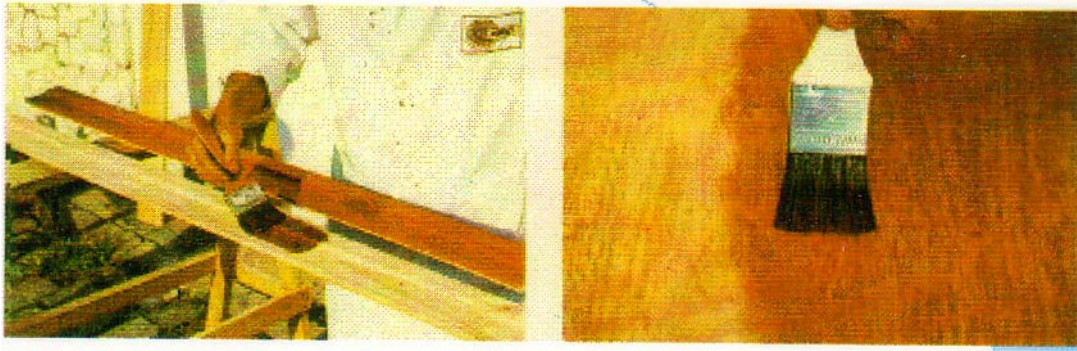


Figura 1. Tratamento por pincelamento e proteção pessoal utilizada

Notas:

- A penetração de uma dada solução preservativa poderá ser determinada experimentalmente por espécie de madeira, considerando-se o volume de solução aplicado em sua superfície e a profundidade que esta atinge a partir da superfície da peça que recebeu a aplicação;
- A quantidade de produto preservativo a ser retido pela madeira, é controlada pelo volume da solução a ser aplicado para atingir a penetração requerida e sua concentração.

Além da quantidade e da concentração da solução preservativa a ser aplicada de forma correta, outro cuidado a ser tomado refere-se à forma de aplicação de solução: Para se conseguir simultaneamente a penetração e a retenção pretendidas na camada de madeira a ser tratada, o volume da solução preservativa deve ser distribuído uniformemente na superfície das peças em aplicações sucessivas, sendo cada reaplicação imediatamente após a absorção da aplicação anterior, sem permitir a sua secagem.

Aplicações sucessivas, mas em espaços de tempo que permitam significativa evaporação da solução entre aplicações, não possibilitam que a solução atinja a profundidade desejada e resulta no super tratamento da camada superficial da madeira. Consequentemente, o material interno não ficará protegido contra os agentes biológicos que poderiam deteriorá-lo, e o material externo

comprometerá a madeira tratada para várias formas de utilização, em decorrência do excesso de produto tóxico em sua superfície.

Produtos oleossolúveis ou oleosos diluídos em solventes orgânicos finos têm maior capacidade de penetração na madeira por unidade de tempo. De fato, esta capacidade está inversamente relacionada à viscosidade da solução preservativa que se pretende aplicar.

Produtos hidrossolúveis não têm a mesma facilidade de penetração na madeira que a de produtos diluídos em solventes orgânicos finos, ou com viscosidade próxima à da água, devido à grande afinidade da água com o material celulósico. Normalmente, à medida que a camada superficial da madeira absorve água, esta se torna inchada, diminuindo progressivamente a taxa de absorção da solução preservativa.

Além do exposto acima, nem todos os produtos hidrossolúveis considerados eficientes para o tratamento da madeira por outros métodos de tratamento, podem ser considerados adequados para o tratamento por pincelamento: Enquanto que com o emprego de alguns métodos se consegue a penetração desejada em um período de tempo muito curto, por pincelamento e por outros métodos o tempo necessário pode ser muito longo, proporcionando que a maior parte dos ingredientes da solução venha a se fixar por reação química com os constituintes da madeira, antes de atingirem a profundidade de penetração requerida.

Com a utilização de produtos muito reativos (ex.: CCA) e de métodos de tratamento que proporcionem absorção da solução preservativa de forma lenta, ocorre o super tratamento da camada superficial da peça tratada, enquanto no seu interior ocorre absorção de solução muito diluída ou apenas de água, redundando em um péssimo tratamento.

2.2. Tratamento por pulverização - madeira seca

Tecnicamente, o tratamento da madeira efetuado com a pulverização de soluções preservativas é praticamente igual ao efetuado por pincelamento (aplicação de solução preservativa na superfície da madeira seca), exceto que para aplicá-las utiliza-se um pulverizador, e que os riscos de contaminação são muito maiores. Por tal razão, este método só é recomendável quando há necessidade de se tratar a madeira onde o método por pincelamento seja considerado inviável.

A opção pela pulverização de soluções preservativas, em preferência à por pincelamento, normalmente é justificada pela inacessibilidade de pincéis à superfície da madeira a ser tratada, especialmente em pequenos espaços e em encaixes de peças estruturais já montadas, ou situações similares.

Necessidades de proteção, além à dada a pessoa que trata a madeira, como na vizinhança da área em que se está aplicando o produto – canteiros de grama, animais domésticos, etc.- é indispensável para se evitar contaminações.

A figura 2 apresenta a forma de aplicação de produtos preservativos com a utilização de pulverizadores, e a necessidade de total proteção pessoal de quem os aplica, em decorrência da nebulização de produto tóxico na atmosfera.

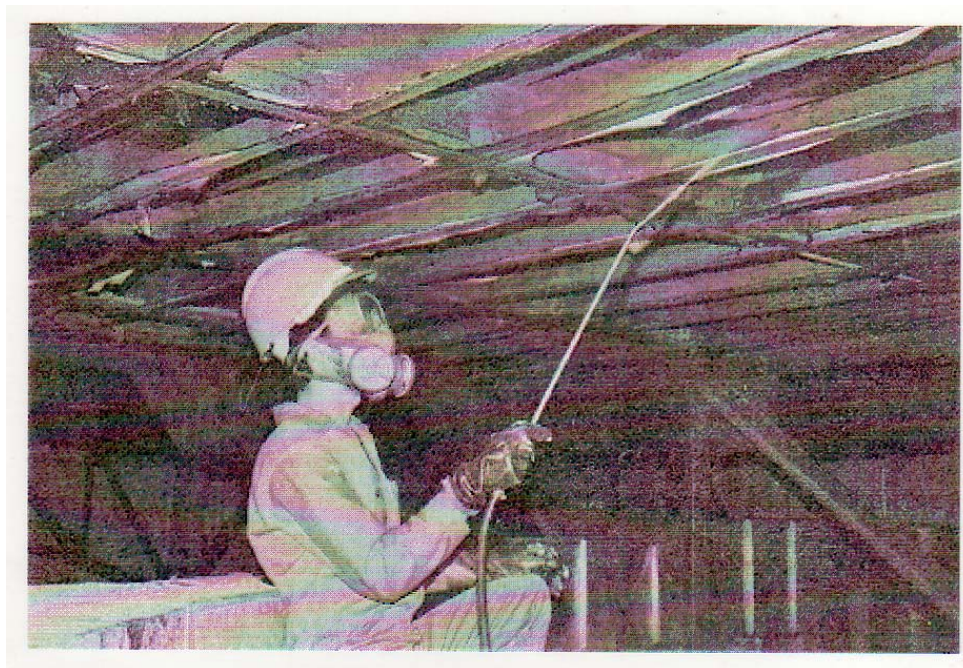


Figura 2. Tratamento por pulverização e proteção pessoal utilizada.

A escolha do produto preservativo, a determinação da quantidade de solução para se alcançar determinada profundidade de penetração, a determinação da concentração da solução para se obter determinada retenção de ingrediente ativo pela madeira tratada, e de outras variáveis do tratamento, poderão ser feitas da mesma forma que a adotada para o método de tratamento por pincelamento. Igualmente, por se tratar de tratamento por aplicação de solução na superfície da ma-

deira, à pressão atmosférica, também são válidas as considerações efetuadas anteriormente, para produtos oleossolúveis e hidrossolúveis.

2.3. Encharcamento da madeira – imersão da madeira seca

A madeira no estado seco pode ser tratada adequadamente pelo método de encharcamento, contanto que ela seja permeável o suficiente para garantir boa penetração da solução preservativa utilizada.

Madeiras permeáveis no estado seco são normalmente submersas em soluções por tempo previamente determinado por experimentação, até que se alcance a profundidade de penetração da solução desejada. Assim, o tempo de tratamento pode variar de poucos segundos a várias horas, ou dias, em função do tipo de solução empregado e da espécie de madeira, entre outras variáveis relacionadas à profundidade do tratamento pretendido.

A quantidade de solução necessária para alcançar determinada profundidade de penetração na madeira (absorção), volume de madeira correspondente, bem como a retenção do produto/ ingredientes ativos recomendados para proteger certa madeira, servem como dados para o cálculo da concentração da solução a ser empregada no tratamento preservativo, ou seja:

$$C = \frac{RV \times 100}{A} \quad [\%]$$

onde:

C = Concentração da solução a ser utilizada, expressa em percentuais (peso/ volume);

R = Peso de produto preservativo ou de princípio ativo recomendado, em quilogramas por metro cúbico de madeira tratável;

V = Volume de madeira a ser tratada, em metros cúbicos, referente tão somente à porção da madeira que efetivamente receberá tratamento;

A = Absorção de solução requerida para alcançar determinada penetração, expressa em litros de solução preservativa por metro cúbico de madeira tratável.

Para maior eficiência do tratamento, o tipo de solução mais recomendável para o encharcamento da madeira é o oleossolúvel de baixa viscosidade. No entanto, soluções que não tenham esta ca-

racterística física podem ter a viscosidade reduzida pela elevação de sua temperatura sem, contudo, se negligenciarem os riscos com o aquecimento a ser efetuado.

Soluções hidrossolúveis também podem ser utilizadas no tratamento por encharcamento, mas devido às características hidrófilas da madeira, a absorção e a penetração do produto preservativo tornam-se muito mais lentas e/ ou limitadas.

Tratamento por imersão rápida da madeira também é uma prática adotada, especialmente quando não se pretende dar grande extensão de vida útil à madeira tratada ou o seu objetivo é fazer com que a madeira adquira também alguma característica adicional. Este método é usualmente empregado para o tratamento de esquadrias com preservativos oleosos ou oleossolúveis contendo algum tipo de repelente de água, objetivando a extensão de vida útil pelo uso do preservativo e pela redução ou eliminação da absorção da água pelos topos das peças tratadas em serviço.

O tratamento por imersão rápida é procedido de poucos segundos a alguns minutos, em função da profundidade de penetração desejada e da permeabilidade/ direção anatômica da madeira, em especial no sentido das fibras, quando a proteção dos topos é o principal objetivo a ser alcançado.

2.4. Tratamento com aplicação de graxas - madeira seca

A utilização de graxas contendo algum tipo de produto tóxico a agentes xilófagos é uma das alternativas para tratar a madeira, especialmente quando esta já está instalada e há dificuldades em se alcançar a superfície da peça a ser tratada.

Estas dificuldades normalmente são criadas pelo difícil acesso à superfície da madeira e o inevitável escorrimento de preservativos na forma líquida após a aplicação. A exemplo desta situação podem ser citadas as peças de madeira engastadas (fig. 3), e encaixes de travessas em portões (fig. 4), ou de material sobreposto fixado por pregos ou parafusos, como representados a seguir.

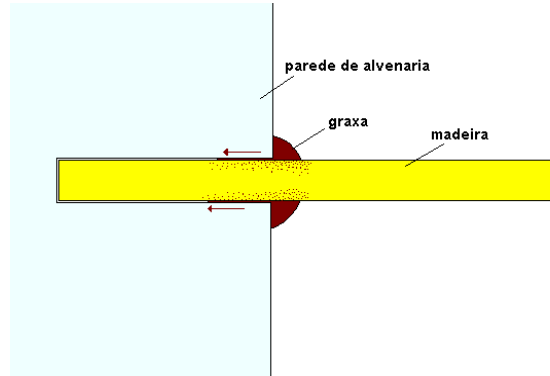


Fig 3. Representação de graxa aplicada em material engastado e da sua penetração lenta e progressiva na madeira.

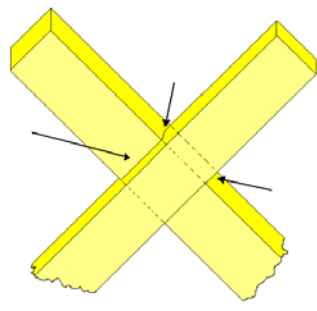


Fig 4. Indicações onde se aplica preservativo graxo em peças encaixadas.

A graxa aplicada, como representado na figura 3, se mantém em quantidade suficiente na posição em que é aplicada, e lentamente é absorvida pela madeira, garantindo boa penetração, retenção e distribuição do princípio ativo, simultaneamente. Para tanto bastará colocá-la em contato com a madeira em quantidade e concentração de princípio ativo corretos, em relação ao volume de madeira a ser tratada.

Os cuidados de proteção pessoal para a aplicação de graxas são menores que para aplicar produtos na forma física líquida. Assim, apenas o uso de luvas é suficiente para prevenir a contaminação do aplicador.

2.5. Métodos de tratamento por substituição de seiva

Os diferentes tratamentos da madeira denominados como de substituição de seiva, objetivam, de fato, a substituição parcial da “água” ou seiva originalmente existente na madeira de árvores recém abatidas por solução preservativa hidrossolúvel, e são descritos a seguir:

2.5.1. Tratamento por capilaridade ou transpiração radial - “madeira verde”

Este tratamento é procedido com o uso de madeira roliça de pequeno diâmetro, recém abatida e descascada, e normalmente destinada para usos como estacas ou mourões.

A representação gráfica da figura 5, a seguir, exemplifica o tratamento, mas com apenas três peças para melhor visualização dos detalhes de interesse. De fato, maior número de peças é normalmente colocado em recipientes como o representado, em função das dimensões das peças, contanto que suas porções aéreas fiquem espaçadas entre si o suficiente para que não haja comprometimento da circulação de ar entre elas e da qualidade do tratamento.

A madeira, devidamente preparada, é parcialmente mergulhada na solução preservativa, comumente até a altura em que será enterrada para proporcionar maior proteção da porção da peça que ficará sujeita à condição mais crítica de deterioração: a com contato direto com o solo úmido e aerado.

Para tratar as peças de madeira com sucesso, estas devem estar dentro do recipiente e permitir adequado espaçamento e ventilação na porção aérea do material. O recipiente, por sua vez, deve ter altura e largura (ou diâmetro) compatíveis com a quantidade e as dimensões das peças a serem tratadas, e ficar em local protegido de chuvas e com boa ventilação.

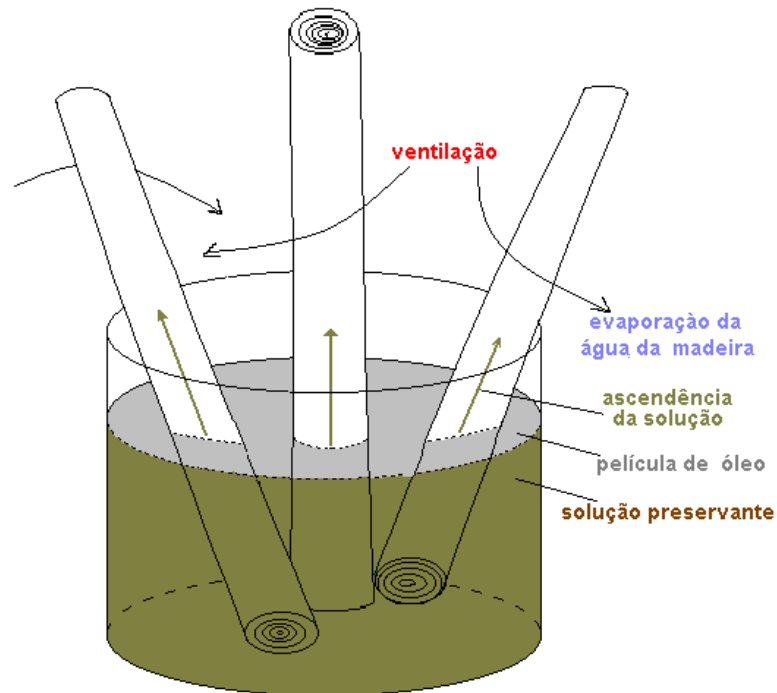


Figura 5. Representação gráfica do método de tratamento da madeira por capilaridade

No preparo da madeira para o tratamento preservativo por este método, três cuidados são considerados fundamentais para se obter madeira tratada com boa qualidade, a saber:

- A madeira deve conter elevado teor de umidade, preferencialmente o teor de umidade original, para evitar que ocorra obstrução de seus capilares com bolhas de ar, decorrentes da secagem dos topos das peças que ficarão imersos na solução;
- Mesmo que a madeira seja de árvores recém abatidas, para se garantir que haja adequado fluxo da solução preservativa ao longo da peça a ser tratada, o extremo da peça a ser mergulhada deve ser cortado imediatamente antes da submersão na solução, para a eliminação da porção de madeira que possa conter capilares com ar;
- A remoção da casca deve ser bem efetuada, tomando-se o cuidado de remover completamente o tecido cambial existente entre a casca e o tecido lenhoso. Sua permanência tornará a madeira menos permeável, reduzindo a evaporação da água na porção aérea do material sendo tratado e a ascensão da solução no seu interior, bem como impedindo a penetração do preservativo no sentido perpendicular às fibras na porção submersa por meio de difusão.

No tratamento preservativo deve-se empregar um produto hidrossolúvel que reaja lentamente com os constituintes da madeira, usualmente o CCB ou FCAP em concentrações entre 3 a 5%, o qual começa a se difundir para o interior da madeira submersa no momento em que esta é posta em contato com a solução (sentido radial), e a ser drenado pelos capilares dos topos submersos (sentido longitudinal), à medida que ocorre evaporação de água nas partes aéreas das peças. Simultaneamente, os ingredientes da solução drenada se difundem do interior dos capilares para os tecidos lenhosos vizinhos, procurando um equilíbrio em concentração e conferindo maior uniformidade ao tratamento.

No sentido de se evitar a evaporação da água incluída na solução preservativa, durante o tempo que perdura o tratamento, pode-se entornar pequena quantidade de óleo ao recipiente que contém a solução, para que se crie um filme delgado em sua superfície, caracterizando uma barreira protetora na interface solução-ar.

A altura da solução preservativa, colocada no recipiente com as peças a serem tratadas, é reduzida continua e proporcionalmente com o volume de solução drenado pela madeira. Consequentemente, para mantê-la, há necessidade de reposição periódica do volume de solução consumida, até que a madeira drene o volume suficiente para garantir a retenção de preservativo desejada ao longo de todo o comprimento da peça de madeira. Esta fase de tratamento normalmente deve perdurar até o produto preservativo aparecer no topo aéreo da peça sendo tratada.

Ocorrida a drenagem de volume de solução suficiente para alcançar a retenção pretendida, a madeira poderá ser retirada do recipiente em que está sendo tratada. No entanto, ela também poderá ser removida e imediatamente recolocada em posição invertida por 1 a 2 dias, objetivando um reforço no tratamento dos topos superiores do material a ser instalado. Após o tratamento, as peças tratadas deverão ser mantidas em ambiente livre da incidência de chuvas e protegidas de condições de secagem superficial aceleradas, até que ocorram todas as reações químicas que promovem a fixação dos componentes do produto preservativo aos constituintes da madeira.

A manutenção das peças tratadas úmidas, até a ocorrência de difusão do produto preservativo dos capilares da madeira aos tecidos vizinhos, e de todas as reações de fixação do produto preservativo na madeira, poderá ser uma providência válida para se obter maior homogeneidade do tratamento e, por conseqüência, material tratado de melhor qualidade. Para tanto, usualmente a

madeira recém tratada é coberta com algum tipo de película impermeável por um período de tempo mínimo de um mês.

Uma vez que o produto preservativo já esteja fixado aos componentes da madeira, as peças tratadas poderão ser prontamente colocadas em uso, ou secadas e armazenadas previamente à sua instalação.

2.5.2. Tratamento pelo Processo Boucherie Modificado- “madeira verde”

Este processo de tratamento, inventado em 1838 pelo francês Auguste Boucherie, tem por objeto a preservação de madeira verde na forma de tora, normalmente para utilização como postes, onde a solução preservativa é empurrada por pressão hidráulica para dentro da tora, por um de seus extremos, com simultânea expulsão da seiva no extremo oposto.

Originalmente o processo de tratamento deste tipo de madeira consistia na introdução de solução preservativa em árvores ainda em pé, ou recém abatidas com casca, galhos e folhas. Ao se colocar a solução em contato com a madeira de alburno, esta era drenada por efeito da transpiração de umidade pelas folhas. Entretanto, por se tratar de um método com resultados imprevisíveis, este foi desenvolvido gradativamente para utilização em nível industrial.

No processo de tratamento Boucherie modificado, madeira recém abatida na forma de tora é colocada levemente inclinada sobre suportes, ainda com casca e com a porção basal na parte mais elevada, onde se adapta uma conexão de borracha sanfonada inflável, revestida por uma capa metálica (fig. 6).

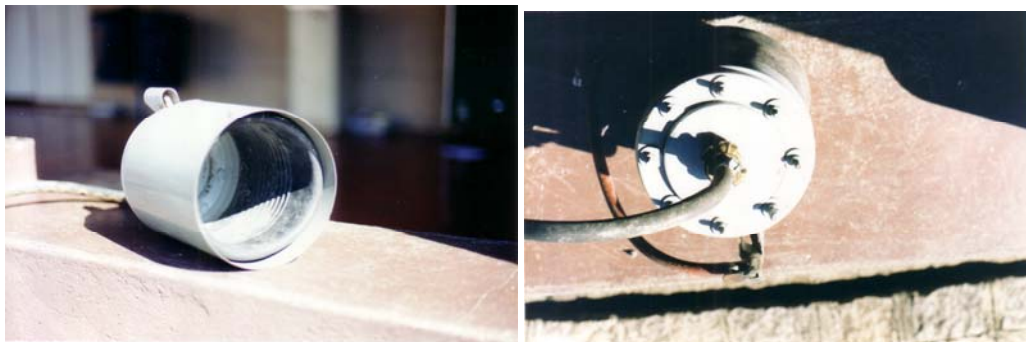


Figura 6. conexão de borracha sanfonada inflável, revestida por uma capa metálica (esquerda) e; conexão com mangueiras para alimentação de solução preservativa e injeção de ar comprimido (direita).

A conexão de borracha, adaptada à porção basal da tora, é ligada a um tubo de alimentação da solução preservativa proveniente de um depósito de solução elevado. A elevação usual é de 10 m, conferindo ao sistema uma pressão hidráulica de aproximadamente 1 atm.

A partir do início do tratamento, a seiva existente na madeira é forçada a sair pelo outro extremo da tora. O tratamento perdura até que se observe o escoamento da solução preservativa no outro extremo, deixando a madeira de alburno tratada.

Para eficiência do tratamento, o produto / ingrediente preservativo a ser utilizado não deve ser muito reativo com os constituintes da madeira, como já considerado nos tratamentos por difusão. Assim, aqueles formulados à base de elementos de baixa massa molecular são os mais adequados.

Antigamente o sulfato de cobre foi muito utilizado neste processo. No entanto ele caiu em desuso, por se tratar de um produto altamente corrosivo a metais que entram em contato com a madeira tratada. Como alternativa, podem ser utilizados os produtos como o flúor e o boro (ácido bórico, tetraborato de sódio, octaborato disódio), entre outros com características similares.

A figura 7 a seguir apresenta detalhes da instalação necessária para o tratamento de postes pelo processo de Boucherie modificado.

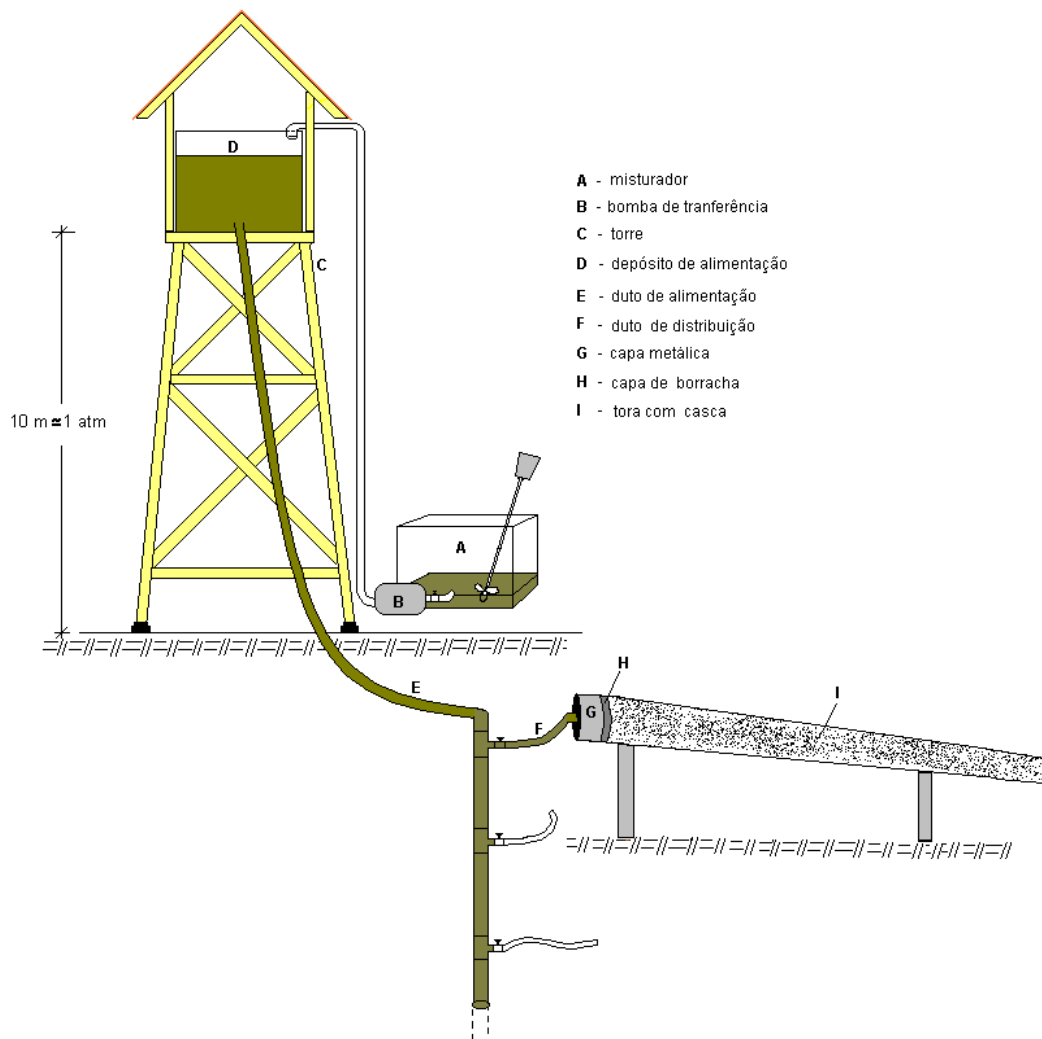


Figura 7. Instalação necessária para o tratamento da madeira pelo Processo Boucherie modificado.

Da mesma forma que para o processo de capilaridade, quando a madeira é recém tratada, ela conterà solução preservativa principalmente no interior de seus capilares, necessitando de um tempo de espera no estado úmido para que o preservativo possa se distribuir de forma mais homogênea e se fixar nos componentes da madeira. Assim sendo, os cuidados já mencionados no sentido de mantê-la com sua umidade original por cerca de um mês, são medidas que melhorarão a qualidade do material tratado.

2.6. Tratamento da madeira por difusão

O princípio do tratamento da madeira pelo processo de difusão baseia-se no fato que, produtos hidrossolúveis concentrados, quando colocados em contato com a superfície da madeira no estado verde, diluem-se na água existente na madeira e migram gradualmente para o seu interior. Em outras palavras, ocorre a migração de moléculas para haver equilíbrio entre as zonas de potencial químico diferentes.

As técnicas de preservação mais usuais, que se utilizam do gradiente de potencial químico existente entre a solução contida no interior da madeira (seiva) e a solução preservativa selecionada para o tratamento, são descritas a seguir:

2.6. 1. Tratamento da madeira por difusão

O tratamento por difusão simples consiste em colocar a madeira no estado verde, contendo alto teor de umidade, em contato com alguma solução preservativa hidrossolúvel concentrada, e mantê-la nesta situação por tempo suficiente para que os ingredientes ativos penetrem em profundidade e em quantidades satisfatórias para assegurar certa proteção.

Apesar de este método possibilitar a aplicação por pincelamento ou pulverização da solução preservativa, a forma mais ideal para tratar a madeira é pela imersão e manutenção do material na solução por tempo predeterminado.

Como os ingredientes ativos migram progressivamente da solução concentrada para o interior da madeira (que contém solução com menor concentração), esta se diluirá até atingir equilíbrio com a solução da madeira. No entanto, por questões de economia, usualmente o processo é interrompido com antecedência, pois quanto menor for o gradiente de concentração entre o interior e o exterior da madeira, menor será a taxa de migração dos constituintes do preservativo. Consequentemente, os seguintes cuidados devem ser tomados para que o tratamento da madeira por este método garanta adequada qualidade do material tratado:

A presente apostila foi elaborada para fins didáticos e seu download e cópia estão disponíveis para qualquer pessoa interessada. Contudo a alteração de seu conteúdo, a transcrição da totalidade ou parte de seu texto, bem como a tradução total ou parcial não estão autorizadas, exceto se devidamente citada a sua fonte.

- a. A madeira deve conter elevado teor de umidade, preferencialmente o de árvores recém cortadas e descascadas - a água existente na madeira é fundamental para que a difusão ocorra com eficiência;
- b. O produto preservativo, ao ser utilizado, não pode reagir/ se fixar com rapidez quando em contato com a madeira, mas deve conter ingredientes que a proteja em função de sua suscetibilidade a agentes xilófagos e do uso final da madeira tratada - produtos muito reativos, como por exemplo, o CCA, deixa a camada superficial da madeira super tratada, enquanto camadas mais profundas ficam pobremente tratadas ou não tratadas.

Os produtos mais usuais para esta finalidade são o CCB, o FCAP e a mistura de tetraborato de sódio decahidratado (borax) mais ácido bórico, na relação de 1,4 : 1 respectivamente;

- c. A concentração da solução preservativa deve ser regulada em relação ao volume de material a ser tratado e à retenção desejada, considerando-se também a mobilidade dos ingredientes ativos e o tempo que a madeira permanecerá imersa na solução.

Devido à ocorrência da imigração de moléculas do produto preservativo para o interior da madeira, a solução empregada se torna exaurida. Por tal motivo, para que se mantenha a homogeneidade da qualidade do material tratado em bateladas subseqüentes, há necessidade de se controlar e de se repor os ingredientes consumidos da solução para cada batelada;

- d. O tempo necessário para garantir adequada profundidade de penetração está relacionado à espécie de madeira, à concentração da solução, à geometria e espessura das peças incluídas no tratamento e/ ou à profundidade de penetração desejada.

Outros fatores também influem na taxa de difusão, como a temperatura da solução (variação verão - inverno), idade da madeira dentro da mesma espécie, etc., mas normalmente eles são negligenciados para fins práticos, devido à alta complexidade criada pela combinação entre as variáveis da madeira, as do produto químico e as ambientais.

- e. Após o tratamento ter sido efetuado, o material tratado deverá ser armazenado em local protegido de chuvas, para evitar lixiviação, e em condições que não ocasione sua desidratação acelerada.

A manutenção da umidade na madeira deve perdurar até que o preservativo se distribua homogeneamente e ocorram todas as reações químicas entre o produto preservativo e os constituintes da madeira, de forma a garantir total fixação do preservativo absorvido, tornando-o insolúvel em água. Para atingir melhor este objetivo, a madeira tratada pode ser coberta com uma película impermeável durante o período de fixação do produto. Este período de tempo normalmente é de um mês.

2.6.2. Tratamento por difusão dupla - “madeira verde”

O tratamento da madeira por difusão dupla, como o próprio nome do método sugere, refere-se ao tratamento por difusão, como descrito no item anterior, exceto que se utilizam dois produtos hidrossolúveis aplicados na madeira em tempos diferentes.

O objetivo deste método é alcançar boa profundidade de penetração e retenção dos produtos na madeira com maior rapidez, os quais reagem com os produtos que constituem a madeira, formando compostos insolúveis em água. Entretanto se ambos fossem colocados como constituintes de uma mesma solução, eles reagiriam entre si e se precipitariam ainda na solução, antes de penetrarem na madeira.

Para tratar a madeira, esta deverá estar com elevado teor de umidade e devidamente descascada. Em seguida ela é mergulhada na primeira solução, retirada e enxaguada, e mergulhada na segunda solução, em tempos predeterminados em função da espécie, tipo de peça, bitola, e outros fatores considerados de importância.

Como exemplo da aplicação do método por difusão dupla, pode ser citado o tratamento de mourões, com os seguintes passos:

Opção A - Proteção da madeira contra fungos apodrecedores

- a. Remoção da casca da madeira no estado verde;
- b. imersão da madeira em solução de fluoreto de sódio a 1% de concentração, por 1 dia;
- c. remoção da madeira da primeira solução e enxaguamento com água;
- d. imersão da madeira em solução de sulfato de cobre a 10% de conc., por 1 dia;
- e. remoção da madeira da segunda solução, empilhamento e cobertura da pilha com película impermeável por 2 semanas;
- f. secagem da madeira ao ar, ou pronta instalação.

Opção B - Proteção da madeira contra fungos apodrecedores e insetos

Esta opção poderá ser executada da mesma forma que a anterior, apenas com a substituição das soluções citadas nos passos **b** e **d** da opção A, como segue:

- b. sulfato de cobre a 10% de concentração, por 1 dia;
- d. arseniato de sódio a 12% de concentração, por 1 dia.

Testes efetuados no Estado de São Paulo, em cinco campos de apodrecimento, com mourões de *Eucalyptus saligna* e formulações das soluções diferentes das já apresentadas, demonstraram que a ordem de imersão não causou diferença nos resultados obtidos. Informações sobre as soluções e os resultados obtidos são resumidos na tabela 1, apresentada a seguir:

TABELA 1. TRATAMENTOS EFETUADOS ATRAVÉS DO CONVÊNIO IPT-IF E RESULTADOS OBTIDOS PELO MÉTODO DE DIFUSÃO DUPLA, EM MOURÕES DE *EUCALYPTUS SALIGNA*.*

1ª solução** 3,5% (m/m)	2ª solução** 3,5% (m/m)	1ª solução / 2ª solução	Retenção (kg/ m ³)	Vida média (anos)
CuSO ₄ . 5H ₂ O	K ₂ Cr ₂ O ₇	1 : 1	10,5	11,2
CuSO ₄ . 5H ₂ O	Na ₂ HAsO ₄ . 7H ₂ O	1 : 1	7,1	14,3

* Fonte: Manual de Preservação de Madeiras, V.II - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1986;

** 1ª ou 2ª solução não quer significar a ordem de imersão.

2.7. Tratamento temporário da madeira - madeira verde

O tratamento temporário da madeira visa, exclusivamente, a proteção da madeira na forma de toras ou recém serrada e úmida à deterioração, até que a mesma seque a níveis de teor de umidade inferiores, fora da situação de suscetibilidade ao ataque por vários fungos e insetos. Estes agentes se referem principalmente aos fungos manchadores e emboloradores, mas também o ataque por alguns coleópteros adaptados à madeira verde, como os das famílias Cerambycidae, Platypodidae e Scolytidae.

Os produtos preservativos para este propósito normalmente são encontrados comercialmente na forma de soluções hidrossolúveis, emulsões ou pastas concentradas, para serem diluídos nas concentrações recomendadas para uso, em função da espécie de madeira e das condições climáticas do período de secagem. Contudo, independentemente da característica da solução adotada, a migração dos ingredientes ativos na madeira ocorre segundo o mecanismo do processo de difusão.

Basicamente o tratamento consiste em aplicar uma solução preservativa na superfície da madeira úmida para, posteriormente, por difusão, ocorrer migração dos ingredientes ativos contidos no filme de solução retido pela superfície da madeira, tratando-a a maiores profundidades. Conseqüentemente, a eficiência do tratamento não depende do tempo em que a madeira fica imersa ou sob um sistema de aspersão da solução preservativa, mas da eficiência dos ingredientes ativos do produto da solução, da sua quantidade retida na superfície da peça de madeira e da concentração da solução utilizada.

A profundidade de penetração atingida pelo preservativo aplicado, a partir da superfície da madeira, é relacionada às características químicas dos ingredientes ativos, quanto à maior ou menor mobilidade/ reatividade destes com os constituintes da madeira, e à concentração da solução empregada. Assim, existem produtos/ formulações que, em função do(s) constituinte(s) que as compõe, poderá atender objetivos do tratamento diferentes, quais sejam:

A presente apostila foi elaborada para fins didáticos e seu dowload e cópia estão disponíveis para qualquer pessoa interessada. Contudo a alteração de seu conteúdo, a transcrição da totalidade ou parte de seu texto, bem como a tradução total ou parcial não estão autorizadas, exceto se devidamente citada a sua fonte.

a. Tratamento a pequenas profundidades (ou tratamento tipo envelope)

Este tipo de tratamento é condicionado pelo tipo de ingredientes/ compostos que reagem prontamente à medida que entram em contato com os constituintes da madeira, fixando-se completamente em uma camada de pouca profundidade a partir de sua superfície.

A profundidade do tratamento tipo envelope relaciona-se à quantidade de princípio ativo existente no filme da solução aderido à superfície da madeira, e da quantidade de seus constituintes que ele encontra ao se difundir para camadas mais internas deste material. Assim, não restando mais ingredientes/ compostos da solução disponíveis para reagir com os produtos da madeira, as camadas existentes a maiores profundidades ficam desprotegidas.

A vantagem na utilização de produtos que resultem no tratamento tipo envelope é a necessidade de menor quantidade de princípios ativos por unidade de volume de madeira tratada de uma mesma bitola, tendo em vista que estes se mantêm bem fixados e limitados a uma camada delgada do material tratado, pois praticamente pouco volume de madeira é tratado, com a retenção de produto em nível satisfatório.

Além da economia em ingredientes ativos, após o tratamento pode-se expor o material que recebeu o tratamento à incidência de chuvas em breve espaço de tempo, devido à rapidez das reações químicas que promovem a fixação do produto à madeira. O mesmo não é possível para produtos com outras características, precisando que a madeira recém tratada permaneça empilhada, sem tabicamento ("empacotada"), por um período mínimo de 12 horas ou mais.

Como desvantagem do tratamento tipo envelope, quando a superfície da madeira seca além do ponto de saturação das fibras (PSF), ela inicia o desenvolvimento de fendas, expondo a porção do material não tratado a maiores profundidades a agentes xilófagos. Assim, é possível que a madeira seque adequadamente, livre do ataque de agentes xilófagos até sua camada superficial chegar PSF, e depois seja atacada, especialmente em épocas de ocorrência de chuvas prolongadas ou freqüentes sobre o material parcialmente seco ou seco.

A exemplo dos produtos que condicionam o tratamento da madeira tipo envelope podem ser citados os hidrossolúveis alcalinos que, ao reagir com a madeira (meio ácido) se tornam cristais insolúveis em água, como é o caso do pentaclorofenato de sódio que se transforma em pentaclorofenol, ou do tribromofenato de sódio, ao retomarem a característica de produto oleossolúvel.

b. tratamento mais profundos

Tratamentos temporários mais profundos são conseguidos por produtos que têm boa mobilidade na madeira. No entanto, devido a esta característica eles normalmente se difundirem em demasia e tendem a se distribuir em toda a profundidade da madeira de alburno. Isto resulta numa retenção aquém da necessária para prevenir o ataque de fungos na superfície do material nas concentrações normalmente recomendadas, em especial para os bolores, por estes serem mais tolerantes a preservativos. Adicionalmente, produtos com tais características tendem a se lixiviar com facilidade da madeira, resultando em tratamento normalmente qualificado como ineficaz.

Como resultado do tratamento com produtos de boa mobilidade, é possível observarmos madeira atacada por fungos emboloradores, os possuidores de maior tolerância, enquanto o mesmo material não apresenta qualquer sinal de ataque por fungos manchadores, considerados muito sensíveis a produtos preservativos.

Teoricamente, o problema relacionado ao ataque de fungos emboloradores no material tratado, pode ser contornado com o aumento da concentração da solução preservativa a ser empregada. Contudo, tal medida normalmente torna o tratamento antieconômico no tratamento de madeiras de baixo valor comercial.

Como exemplos de princípios ativos considerados de alta mobilidade na madeira, podem ser citados o tetraborato de sódio decahidratado (borax) e o tiocianometiltio benzotiazol (TCMTB), embora o tratamento da madeira apenas com borax não seja uma prática usual, pela sua baixa solubilidade em água e a dificuldade em se conseguir uma solução com concentração adequada para este tipo de prevenção.

c. tratamentos à profundidades intermediárias

Tratamentos temporários da madeira a profundidades intermediárias entre as situações citadas em **a** e **b** acima, são ideais e conseguidos por alguns ingredientes ativos ou combinações pré-elaboradas existentes no mercado.

Da mesma forma que para o caso de produtos que dão proteção tipo envelope, os com uma mobilidade maior, mas não suficiente para alcançar profundidades que ultrapassem a profundidade das fendas que se desenvolverão na madeira por consequência da sua secagem, não evitarão a exposição da madeira não tratada de seu interior. Portanto, o produto ideal seria aquele que tivesse mobilidade suficiente para penetrar além das fendas a que a uma espécie de madeira em particular irá desenvolver durante a sua secagem.

O fendilhamento da madeira se desenvolve na sua superfície, para a liberação das tensões internas criadas pelo diferencial de teor de umidade entre suas camadas superficiais e internas, iniciando-se quando a secagem da externa atinge o ponto de saturação das fibras (PSF), mas ainda há necessidade de continuar a secagem do seu interior. Com a sua ocorrência e a necessidade da madeira ainda ficar exposta ao tempo e sujeita ao umedecimento por orvalho e chuvas, continua a existir a possibilidade de ataque por agentes xilófagos pelas fendas da madeira.

Como já exposto acima, se a difusão do preservativo se der a profundidades além das fendas superficiais da madeira, esta ficará adequadamente tratada para qualquer tipo de situação climática, contanto que a concentração da solução utilizada confira à madeira nesta profundidade uma retenção mínima, suficiente para prevenir o ataque dos agentes biológicos que poderiam ocorrer no material.

A figura 8 apresenta o esquema de um dos métodos mais usuais para o tratamento temporário da madeira, por imersão, e a figura 9 para o de tratamento por aspersão da solução preservativa à superfície da madeira.

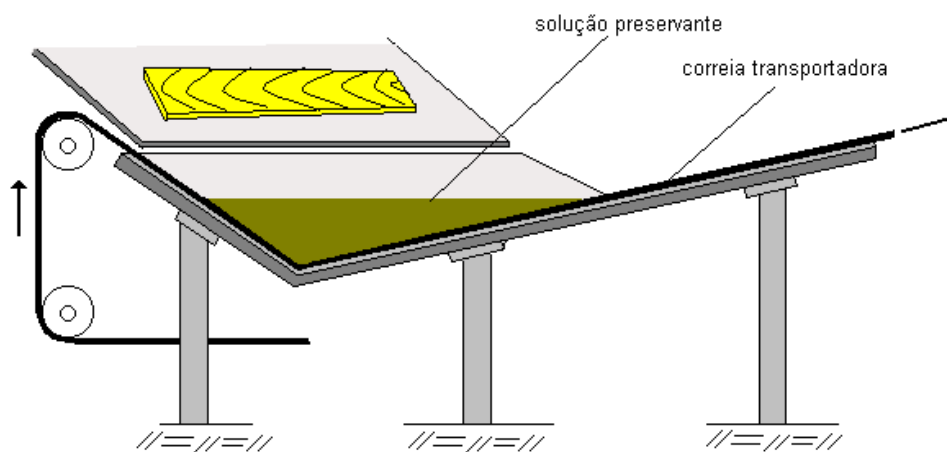


Figura 8. Esquema do tratamento temporário da madeira por imersão.

A representação da figura 7 refere-se ao método automático, para grande produção diária, onde as peças de madeira recém serradas são levadas por uma corrente transportadora até o tanque de solução; a seguir elas caem na solução e são retiradas automaticamente por uma correia transportadora, com uma permanência na solução de aproximadamente 10 segundos.

Em decorrência da contínua utilização da solução preservativa no tratamento temporário da madeira, ocorre alteração progressiva de sua concentração e de seu pH, devido o seu contato com a madeira, havendo a necessidade de correção periódica da solução remanescente. As correções são normalmente efetuadas com relação ao pH para soluções alcalinas, e/ou à concentração da solução para emulsões, com a finalidade de reposição dos ingredientes perdidos pela solução por meio de difusão para a madeira.

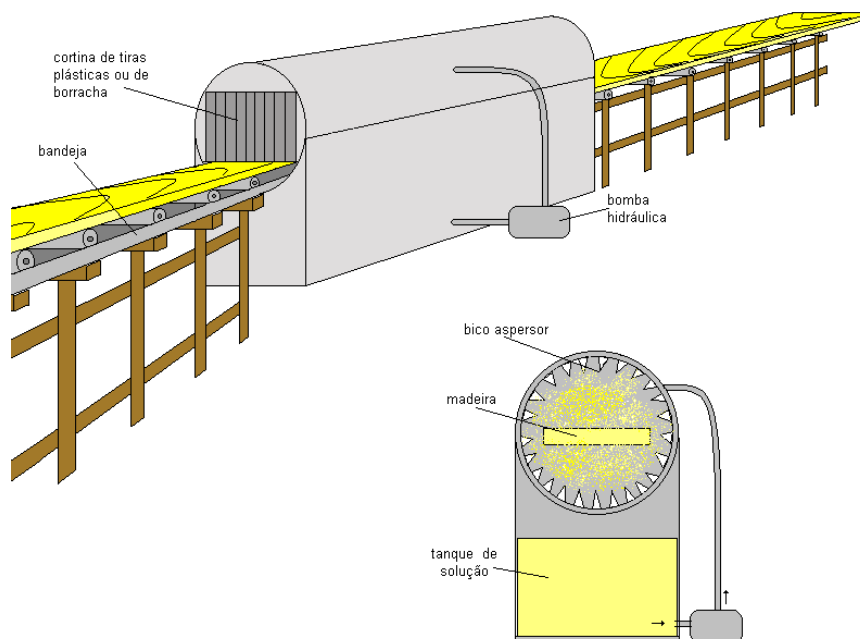


Figura 9. Esquema do tratamento temporário em túnel de aspersão: Vista geral e corte transversal do túnel.

A representação gráfica da figura 9 refere-se a outro método automático, também para grande produção diária, e/ou para a de peças com grandes dimensões. Neste tipo de tratamento existem bicos pulverizadores bem distribuídos na parede interna do túnel, de forma a garantir perfeita aplicação do produto preservativo em toda a superfície das peças de madeira. O tempo de aplicação da solução preservativa sobre a madeira é dependente da velocidade de avanço das peças.

Nota:

Indústrias com pequena produção diária normalmente utilizam-se de processos manuais ou semi-automáticos para banhar a madeira em solução preservativa, onde as peças a serem tratadas são carregadas e imersas manualmente, ou deslizam sobre roletes até o tanque que contém a solução preservativa, de onde também são removidas manualmente. Tais operações são responsáveis por grande incidência de contaminação dos operários que trabalham neste setor e devem ser evitadas.

2.8. Banho quente-banho frio - madeira seca

Este método de tratamento, também conhecido por banho quente-frio, normalmente é utilizado para preservar madeira de pequenas dimensões no estado seco, com produtos preservativos de natureza oleosa. Todavia, tratamentos de peças de madeira de maiores dimensões, bem como o uso de produtos oleossolúveis, ou hidrossolúveis que permaneçam estáveis em soluções aquecidas, também podem ser praticados.

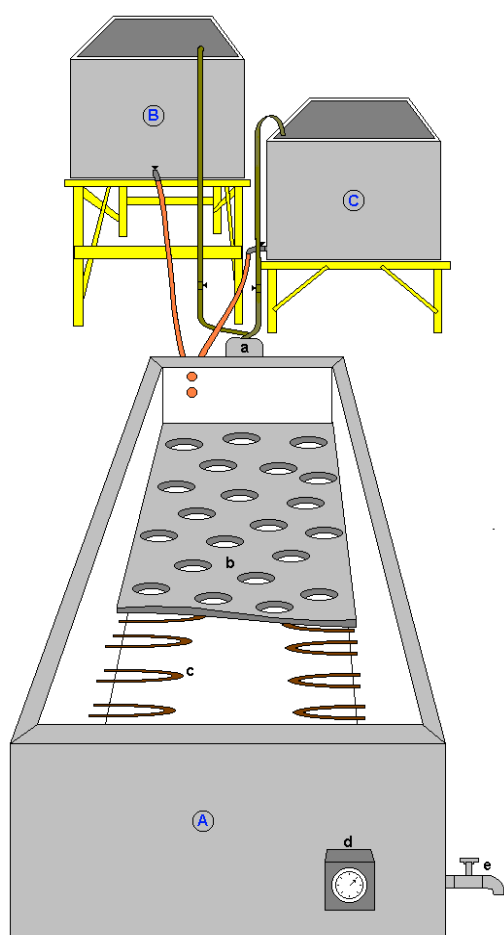
Este método de tratamento consiste em mergulhar a madeira descascada no estado seco em produto preservativo aquecido (ou à temperatura ambiente com posterior aquecimento), e posteriormente substituí-lo rapidamente por produto à temperatura ambiente, ou resfriá-lo.

De fato, apesar de parecer um tratamento extremamente simples, para se conseguir um tratamento que confira boa qualidade ao material tratado, é necessário que se tenha uma boa compreensão de seu funcionamento e observar que sejam atingidos alguns objetivos nas etapas de sua execução, as quais são discutidas a seguir:

- O contato da madeira com o produto preservativo aquecido faz que ocorra transferência térmica, aquecendo o material que a constitui e o ar contido no seu interior. Com isto, o ar se expande e escapa gradualmente da madeira, até atingir o ponto de equilíbrio entre as temperaturas do produto preservativo e do ar da madeira. Nesta fase, apenas entre 15% a 20% da absorção total permitida é alcançada pela madeira.
- Posteriormente à fase de transferência térmica permitida, que tem duração variável em função da espécie, da orientação de corte, geometria da peça e bitola da madeira, a solução preservativa aquecida é rapidamente substituída por solução fria para ocorrer nova transferência térmica, desta vez causando o resfriamento da madeira e do ar remanescente no seu interior.
- Com o resfriamento do ar remanescente na madeira, cria-se pressão negativa em seu interior que, auxiliado pela pressão atmosférica local e a redução da viscosidade da solução, drena com facilidade o produto preservativo que se encontra em contato com a superfície externa da madeira.

- Verificada a absorção permitida em relação às variáveis do tratamento (produto preservativo, madeira, bitola, forma geométrica, temperatura e tempo de aquecimento, etc.), o produto preservativo frio é removido do tanque utilizado para o tratamento e, após escorrer o excesso existente na superfície da madeira, esta é retirada e estaleirada.

A figura 10, a seguir, mostra os equipamentos necessários para o tratamento da madeira pelo método banho quente-banho frio, embora estes possam ter variações quanto às suas formas e modo de funcionamento, normalmente sendo mais rústicos.



A : Tanque de aço inoxidável com paredes duplas, preenchida com material para isolamento térmico;

B: depósito de produto oleoso frio;

C: depósito de produto oleoso quente;

a: bomba de transferência;

b: chapa metálica vazada para sustentação da madeira, em corte;

c: resistência de aquecimento;

d: termostato;

e: registro para esvaziamento e limpeza do tanque.

Figura 10. Equipamento usado no tratamento da madeira pelo processo banho quente – banho frio

Alternativamente o tratamento preservativo pode ser efetuado com o uso de apenas um depósito de solução preservativa, mas de forma mais lenta, onde após a imersão da madeira no produto preservativo efetua-se o aquecimento e subsequente resfriamento. Este tipo de procedimento é muito comum, especialmente no meio rural, usualmente com tanques construídos de seções longitudinais de tambores soldados, aquecidos com fogo direto.

O produto preservativo mais adequado para tratar a madeira por este método é o creosoto: Em tratamentos procedidos com equipamentos como os representados na figura 10, o creosoto quente é levado ao tanque de tratamento, e mantido em temperaturas de 95°C a 115°C, com a madeira imersa por um período de tempo suficiente para expulsar um volume de ar suficiente no sentido de obter a penetração desejada.

Obviamente o período de tempo que se mantém a madeira sob aquecimento é variável em função das diferenças envolvidas no procedimento de tratamento da madeira, com relação às espessuras e formas geométricas das peças de madeira, direção anatômica da madeira, produto preservativo usado e ao próprio processo de tratamento, como já referido anteriormente.

Depois que o produto preservativo aquecido é removido do tanque de tratamento, ele é substituído rapidamente por preservativo frio, mantendo-se a madeira imersa neste por um tempo suficiente para permitir a absorção desejada. Este tempo também é variável em função do material sendo tratado, pois há uma grande diferença entre tratar peças nas dimensões de postes, dormente, ripas ou, até mesmo lâminas de madeira, bem como peças cortadas em diferentes orientações anatômicas, geometrias, entre outras variáveis.

Caso a espécie de madeira utilizada absorva excessiva quantidade de produto preservativo, novo banho quente com imediata interrupção e remoção da madeira da solução promoverão o retorno de parte do produto já absorvido, reduzindo a retenção, mas com a vantagem de tratamento a maior profundidade e limpeza da superfície do material tratado.

Embora o creosoto seja o produto normalmente utilizado nesse processo, outros preservativos oleosos e produtos dissolvidos/ diluídos em óleo também poderão ser empregados no tratamento da madeira. Entretanto, devido aos riscos de inflamação do produto ou solução oleosa ou oleosolúvel, eles têm a temperatura de aquecimento limitada em função dos seus respectivos pontos de fulgor. O mesmo não acontece para produtos hidrossolúveis estáveis em solução aquecida, como para o caso do bórax ou deste produto mais ácido bórico.

3. Tratamento da madeira em autoclave

Para se tratar madeira em autoclave há necessidade uma autoclave, que consiste basicamente de um vaso que possa ser hermeticamente fechado, robusto o suficiente para resistir esforços do vácuo e/ou pressão exigidos, com equipamentos auxiliares para efetuar o tratamento a contento, como serpentinas de aquecimento, bombas de vácuo e de pressão, entre outros, dependendo do método de tratamento utilizado, que em conjunto forma uma usina de preservação.

No anexo deste volume são apresentados alguns tipos de usinas de preservação, objetivando diferentes tipos de tratamentos de madeira.

Além dos equipamentos constantes em uma usina de preservação, da definição do processo de tratamento a ser empregado, tipo de produto preservativo a ser utilizado, espécie de madeira a tratar e demais variáveis no seu preparo para o tratamento, há necessidade de uma prévia quantificação de tempo nas diferentes ações a serem procedidas durante o tratamento preservativo (vácuo e/ou pressão). Por tal razão são confeccionados **programas de tratamento** específicos para o tratamento da madeira, que reúnam todas as variáveis envolvidas em base a resultados de tratamentos anteriores bem testados, preferencialmente com material em serviço, que garantirão a repetição dos resultados do tratamento já efetuados com sucesso, caso não haja alterações nas variáveis pré-fixadas.

No tratamento em autoclave a madeira a ser tratada deverá estar descascada e no seu estado seco (20% a 25% de teor de umidade) e, a rigor, qualquer tipo de produto preservativo poderá ser utilizado (oleoso, oleosolúvel ou hidrossolúvel). Entretanto sempre haverá aquele mais adequado para uma finalidade de uso específico da madeira tratada e dos resultados do tratamento requeridos.

A figura 11, a seguir, ilustra uma planta de tratamento de madeira, com seus equipamentos auxiliares para métodos de tratamento convencionais, e a figura 12 apresenta a imagem de uma autoclave comercial.

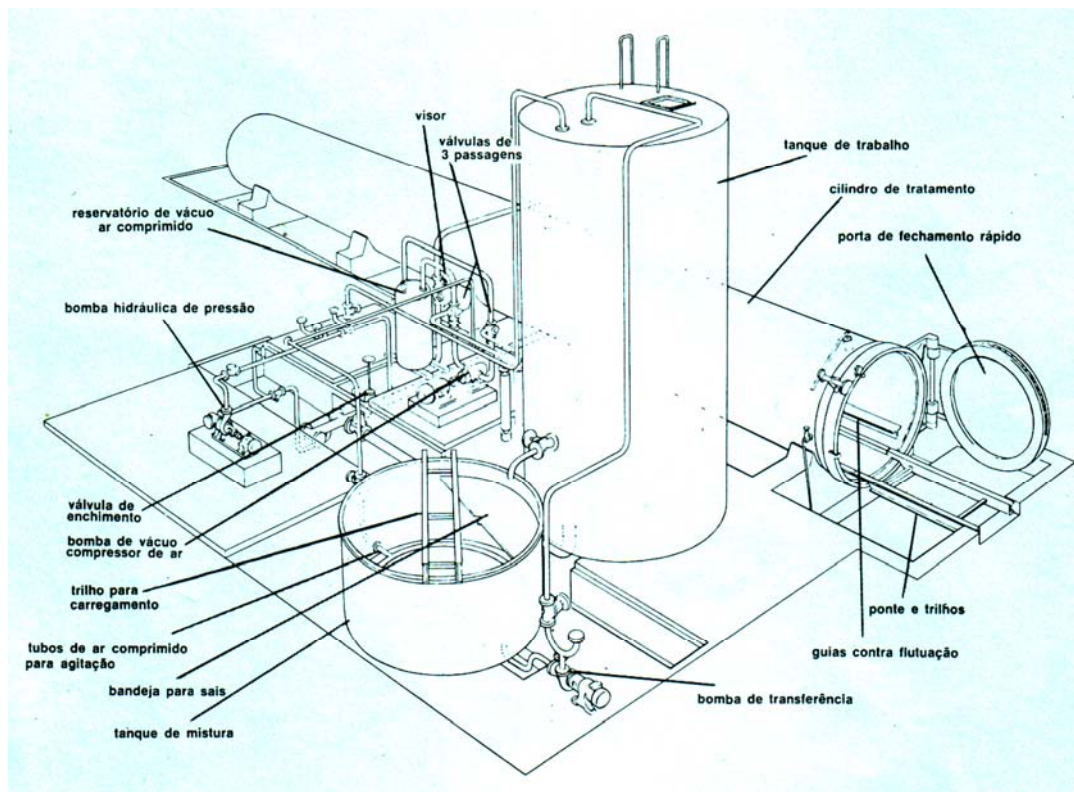


Figura 11. Desenho esquemático de uma planta de tratamento de madeira típica.
Fonte: Montana Química S.A.

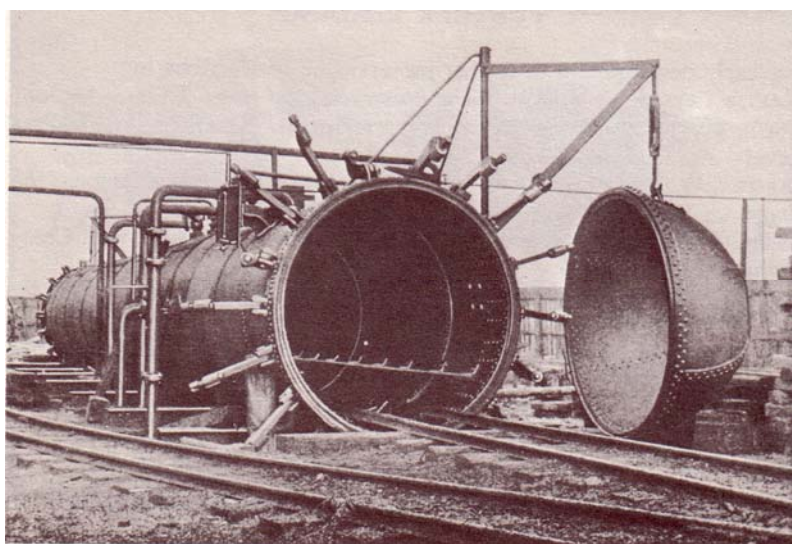


Figura 12. Autoclave cilíndrica em uso comercial.

Dentre os processos de tratamento da madeira em autoclave, os funcionamentos dos mais tradicionais são descritos a seguir, como:

3.1. Processo Gewecke

Cerca de 50 anos atrás, com o desenvolvimento de produtos preservativos hidrossolúveis de boa fixação na madeira, houve a necessidade de adaptações no método Boucherie para acelerar o processo de tratamento, de forma que a utilização dos novos produtos preservativos à época fosse possível. Dos estudos desenvolvidos surgiu o **Processo Gewecke** como um dos mais eficientes.

Herman Gewecke adaptou ao processo Boucherie, em 1950, pequenas modificações que são utilizadas até hoje, consistindo dos seguintes passos:

- Descascamento das toras;
- Carregamento das toras em vagonetes e colocação de conexões em seus topos axiais para sucção da seiva da madeira por efeito de vácuo;
- ligação das conexões de sucção por tubos e/ou canos, ao tubo principal de sucção no interior de um cilindro de tratamento convencional;
- recolhimento do vagonete carregado com as toras e fechamento do cilindro de tratamento;
- aplicação de pressão no cilindro de tratamento (85 N/mm^2) para forçar a solução preservativa para o interior da madeira (normalmente CCA) e, simultaneamente, sucção da seiva pelas conexões colocadas nos topos das toras;

Para evitar contaminação ambiental, a seiva da madeira e a solução preservativa removidas por sucção, são introduzidas no cilindro de tratamento.

A figura 8 mostra alguns detalhes da execução deste processo de tratamento.



Figura 13. Vista do Processo Gewecke em execução.

3.2. Processo duplo-vácuo

No processo denominado Duplo-vácuo utilizam-se duas fases de vácuo, uma denominada vácuo inicial (**VI**) e outra de vácuo final (**VF**), separadas por uma fase à pressão atmosférica. Trata-se de um processo de célula cheia pelo fato do vácuo inicial drenar grande volume de ar existente na madeira seca, previamente ao tratamento da madeira, que posteriormente é substituído por solução preservativa.

A seguir é apresentado um gráfico esquemático de um programa para o tratamento da madeira pelo processo Duplo-vácuo, onde a coordenada define o tempo de operação e a abscissa define quando a operação se encontra sob efeito de vácuo, e quanto de vácuo foi procedido, ou se o sistema se encontra à pressão atmosférica.

As linhas azuis do gráfico do esquema do programa de tratamento, apresentado abaixo, além de representar os procedimentos, também representam situações em que a autoclave se encontra sem solução preservativa em seu interior, enquanto a linha cheia na cor vermelha representa o momento em que a autoclave se encontra com solução preservativa.

A presente apostila foi elaborada para fins didáticos e seu dowload e cópia estão disponíveis para qualquer pessoa interessada. Contudo a alteração de seu conteúdo, a transcrição da totalidade ou parte de seu texto, bem como a tradução total ou parcial não estão autorizadas, exceto se devidamente citada a sua fonte.

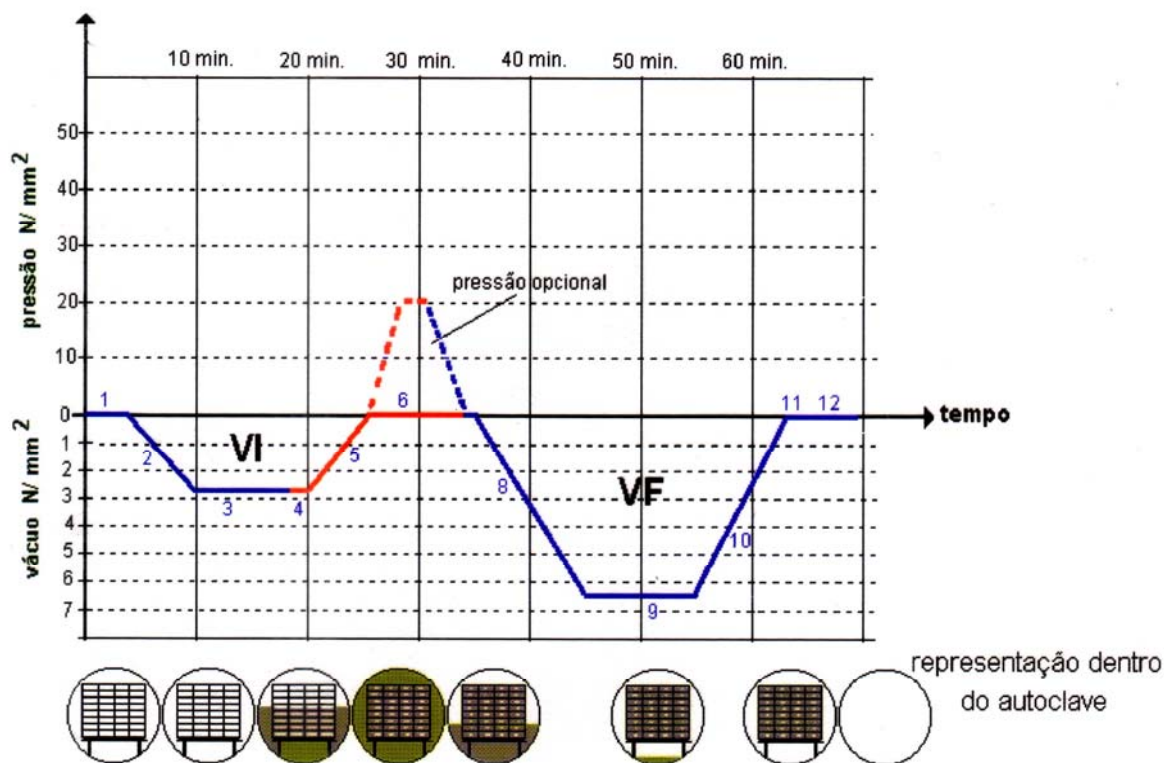


Figura 14 . Esquema do programa de tratamento preservativo pelo processo Duplo-vácuo.

Para melhor entender o funcionamento do processo preservativo apresentado, não basta apenas uma correta interpretação gráfica de seu programa de tratamento, mas da compreensão do que está se passando dentro da autoclave e, simultaneamente, dentro da madeira, nas suas diferentes fases de execução. Para tanto, a tabela 2 apresenta de forma relacionada às diferentes ocorrências por fase, no interior da autoclave e no interior da madeira.

Nota: A linha pontilhada existente no gráfico, representando uma fase de pressão opcional (elevação da pressão atmosférica utilizada neste processo), remete ao tratamento apresentado no item 2 a seguir.

TABELA 2. DESCRIÇÃO DAS AÇÕES E OCORRÊNCIAS DURANTE O TRATAMENTO DA MADEIRA PELO PROCESSO DUPLO-VÁCUO.

FASE DE EXECUÇÃO	PROCESSO DUPLO-VÁCUO - OCORRÊNCIAS POR FASE	
	NA OU DENTRO DA AUTOCLAVE	NA OU DENTRO DA/ NA MADEIRA
1	Autoclave aberta – fase de carregamento e fechamento da porta	Existência de ar, na pressão atmosférica
2	Aplicação do vácuo inicial (VI) – início da drenagem do ar da autoclave	Início da drenagem do ar naturalmente existente na madeira
3	Manutenção do máximo VI aplicado, por recuperação sistemática, à medida que ele é reduzido por efeito da drenagem gradativa do ar existente na madeira	Saída gradativa do ar existente na madeira para o interior da autoclave, com aumento gradativo de vácuo no seu interior. - à medida que o ar sai da madeira, causa a redução do VI aplicado na autoclave
4	VI estável ou com queda insignificante e início da admissão de solução preservativa, auxiliada pelo vácuo produzido na autoclave	Cessa a saída de ar com o equilíbrio entre o VI e o vácuo criado no interior da madeira, e inicia a penetração da solução preservativa com a admissão de solução preservativa
5	Liberação do VI criado por drenagem do ar da autoclave, até atingir a pressão atmosférica, e criação de gradiente de pressão entre o interior e o exterior da madeira, este último em contato direto com a solução preservativa	Absorção gradativa da solução preservativa, por efeito do gradiente de pressão, a qual terá sua taxa gradativamente reduzida com a absorção da solução e respectiva redução do gradiente de pressão
6	Manutenção do sistema à pressão atmosférica, até cessar a absorção de solução preservativa pela madeira, ou alcançar um ponto econômico que determine o encerramento desta fase	Absorção de solução cada vez mais lenta, por efeito da redução gradativa do gradiente de pressão, até alcançar equilíbrio com a pressão atmosférica ou alcançar um ponto econômico que determine encerramento desta fase
7	Drenagem da solução existente na autoclave por meio de bomba de transferência, conduzindo-a para o depósito de solução preservativa	A madeira já se encontra tratada, mas com solução em excesso em suas superfícies (superfícies “molhadas”)
8	Aplicação de vácuo fina (VF) com o objetivo de remover o excesso de solução preservativa e promover a limpeza da superfície da madeira	A solução existente nas células das camadas superficiais da madeira é gradativamente drenada, escorrendo para o fundo da autoclave juntamente com excesso de solução que já se encontrava nas superfícies da madeira
9	Manutenção do VF	Continuidade da drenagem da solução da madeira sob manutenção do VF, até alcançar estabilidade do vácuo aplicado na autoclave - a madeira ainda permanece com suas superfícies “molhadas”
10	Liberação do VF aplicado na autoclave e retorno do sistema à pressão atmosférica	O excesso de solução remanescente, existente nas superfícies da madeira, é puxado para o seu interior
11	Drenagem do excesso de solução removida da madeira, por bomba de transferência	A madeira tratada permanece inalterada, a espera da fase de descarregamento
12	Abertura e descarregamento da autoclave	-----

3.3. Processo Bethell

O processo de tratamento da madeira Bethell, também conhecido como Processo de Célula Cheia, foi inventado pelo engenheiro John Bethell em 1838, há mais de 170 anos, mas até hoje os seus princípios básicos de operação permanecem os mesmos, independente dos avanços tecnológicos que melhoraram os equipamentos e suas formas de controle, por meios mecânicos e eletrônicos.

No processo denominado Bethell também se utilizam duas fases de vácuo, uma denominada vácuo inicial (VI) e outra de vácuo final (VF), separadas por uma fase de pressão positiva em relação à pressão atmosférica. Este também se trata de um processo de célula cheia, pelo fato do vácuo inicial drenar grande volume do ar existente na madeira previamente ao seu tratamento, e posteriormente substituí-lo por solução preservativa.

O tratamento em si prevê a substituição da maior quantidade do ar existente no interior das células da madeira por solução preservativa, normalmente a hidrossolúvel, mas nada impede que seja usado para o tratamento com produtos oleosos ou oleossolúveis.

Creosoto somente é empregado quando se deseja altas retenções de preservativo na madeira, a exemplo de dormentes, um dos poucos tipos de produtos onde a exsudação do creosoto na madeira em uso favorece a sua proteção por criar uma camada impermeável à água de chuvas nas suas superfícies externas. Por outro lado, se produtos oleossolúveis forem utilizados, normalmente o custo do solvente orgânico passa a ser uma grande limitação econômica, pelo maior volume de solução necessária para garantir o preenchimento das células da madeira. Estas mesmas observações são válidas para o processo Duplo-Vácuo, apresentado anteriormente.

A seguir é apresentado um gráfico esquemático de um programa para o tratamento da madeira pelo Processo Bethell (fig. 15), onde uma das coordenadas define o tempo de operação e a outra define quando a operação se encontra sob efeito de vácuo, e quanto de vácuo ou pressão hidráulica foi procedida.

As linhas azuis do gráfico do esquema de programa de tratamento, apresentado abaixo, além de representarem os procedimentos, também representam situações em que a autoclave se encontra sem solução preservativa em seu interior ou em fase de esvaziamento, enquanto a linha na cor vermelha representa o momento em que a autoclave se encontra com solução preservativa.

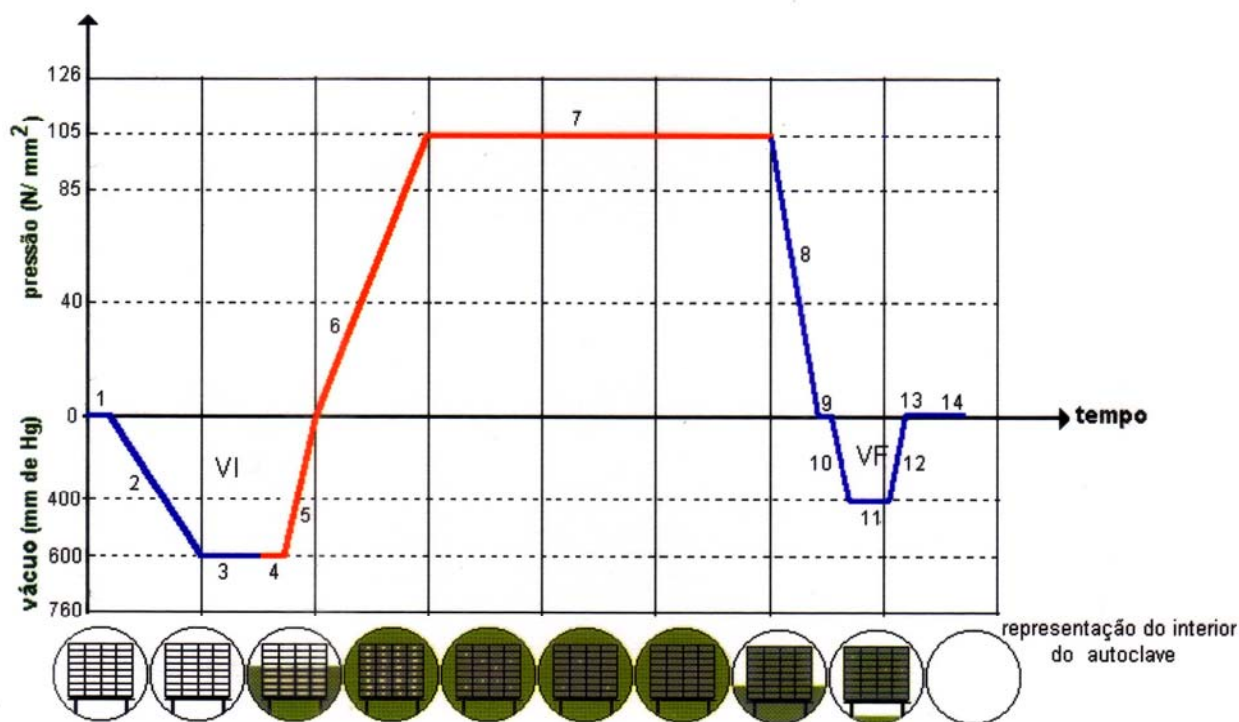


Figura 15. Esquema do programa de tratamento preservativo pelo Processo Bethell.

Para melhor entender o funcionamento do processo preservativo ilustrado acima, a tabela 3 apresenta passo-a-passo e de forma relacionada, as diferentes ocorrências durante o tratamento preservativo da madeira, no interior da autoclave e no interior da madeira.

TABELA 3. DESCRIÇÃO DE AÇÕES E OCORRÊNCIAS DURANTE O TRATAMENTO DA MADEIRA PELO PROCESSO BETHELL.

FASE DE EXECUÇÃO	PROCESSO BETHELL - OCORRÊNCIAS POR FASE	
	DENTRO DA AUTOCLAVE	DENTRO DA/ NA MADEIRA
1	Autoclave aberta – fase de carregamento e fechamento da porta - ar na pressão atmosférica	Sem alteração
2	Aplicação do vácuo inicial (VI) – início da drenagem do ar da autoclave	Início da drenagem do ar naturalmente existente na madeira – criação de vácuo
3	Manutenção do máximo VI aplicado, por recuperação sistemática, conforme ele é reduzido gradativamente por efeito da drenagem do ar da madeira	Saída gradativa do ar existente na madeira para o interior da autoclave, com aumento gradativo do vácuo no seu interior. - causa a redução do VI aplicado na autoclave–
4	VI estável ou com queda insignificante, e início da admissão de solução preservativa na autoclave, utilizando-se do vácuo inicial	Cessa a saída de ar com o equilíbrio entre o VI e o vácuo criado no interior da madeira, e inicia a penetração da solução preservativa
5	Relaxamento do VI criado por drenagem do ar da autoclave, até atingir a pressão atmosférica – preenchimento com solução	Absorção gradativa da solução preservativa, por efeito do gradiente de pressão criado, ou seja, do vácuo criado no interior da madeira
6	Criação de pressão hidráulica por bombeamento de solução para o interior da autoclave, imediatamente após atingir a pressão atmosférica	Aumento da taxa de absorção de solução preservativa pela madeira, por efeito do aumento do gradiente de pressão entre o interior da autoclave e o interior da madeira
7	Manutenção do sistema sob pressão, com recuperação da pressão por bombeamento de solução na autoclave, até cessar a absorção de solução preservativa pela madeira ou alcançar um ponto econômico que determine o encerramento desta fase	Absorção de solução cada vez mais lenta, por efeito da redução gradativa do gradiente de pressão, até alcançar equilíbrio de pressão entre o interior da madeira e o interior da autoclave, ou alcançar um ponto econômico que determine o encerramento desta fase do tratamento
8	Liberação da pressão hidráulica existente no interior da autoclave, com retorno de parte da solução existente em seu interior para o tanque de trabalho (depósito de solução)	Do início ao final desta fase, parte da solução empurrada para o interior da madeira retorna para a autoclave, e a madeira já se encontra tratada. Mas o interior da autoclave permanece cheio de solução preservativa
9	Remoção da solução da autoclave por meio de bomba de transferência - retorno para o tanque de trabalho	A madeira se encontra tratada, mas ainda exsudando e com solução em excesso em suas superfícies (superfícies “molhadas”)
10	Vácuo final para remover o excesso de solução preservativa e promover a limpeza da superfície da madeira	A solução existente nas células das camadas superficiais da madeira é gradativamente drenada, escorrendo para o fundo da autoclave
11	Manutenção do VF	Continuidade da drenagem da solução da madeira sob manutenção do VF, até alcançar estabilidade do vácuo aplicado na autoclave - a madeira ainda permanece com suas superfícies “molhadas”
12	Liberação do VF aplicado na autoclave e retorno do sistema à pressão atmosférica	O excesso de solução remanescente, existente nas superfícies da madeira, é puxado para o seu interior
13	Drenagem do excesso de solução removida da madeira, por bomba de transferência	A madeira tratada permanece inalterada, a espera da fase de descarregamento
14	Abertura e descarregamento da autoclave	-----

A presente apostila foi elaborada para fins didáticos e seu download e cópia estão disponíveis para qualquer pessoa interessada. Contudo a alteração de seu conteúdo, a transcrição da totalidade ou parte de seu texto, bem como a tradução total ou parcial não estão autorizadas, exceto se devidamente citada a sua fonte.

3.4. Processo Lowry

O processo de tratamento da madeira desenvolvido por Lowry é conhecido como Processo de Célula Vazia, por não existir a fase de vácuo inicial (VI), o que mantém o volume de ar originalmente existente no interior da madeira. Durante a impregnação da solução este ar é empurrado a maiores profundidades da superfície da madeira, pela aplicação de solução preservativa sob efeito de pressão hidráulica, mantendo-o no seu interior na forma de ar comprimido.

Após a penetração forçada da solução preservativa na madeira a pressão é relaxada, permitindo que o ar comprimido no seu interior se expanda para voltar a equilibrar-se com a pressão atmosférica do ambiente externo, cujo fluxo empurra de volta grande parte da solução que entrou na madeira por esforço mecânico. Como resultado destas ações, a madeira tratada teoricamente fica apenas com a sua superfície interna molhada pela solução preservativa, caracterizando assim um processo de tratamento denominado de **“tratamento de célula vazia”**.

De fato, a solução preservativa que preenche os capilares da madeira não é empurrada para fora com eficiência quando ocorre a expansão do ar comprimido de seu interior, criando certa dificuldade no controle da absorção de solução e da retenção de preservativo pelo material a ser tratado, razão que justificou o desenvolvimento do Processo Rüeping descrito no próximo item.

Finalmente se efetua o vácuo final (VF) objetivando a limpeza da superfície do material tratado, que poderá ser repetido quantas vezes forem desejadas até conseguir a limpeza desejada (inclusive podendo intercalar vaporização entre elas com o sistema na pressão atmosférica, para o caso de produtos oleosos), em detrimento da proteção dada à madeira por decorrência da remoção progressiva proporcionada ao produto existente nas camadas externas da madeira tratada.

Este é um tratamento adequado para a utilização de produtos oleosos ou oleossolúveis, dado o menor volume/ custo de solução preservativa a ser utilizada e a possibilidade de melhor controlar a exsudação do produto preservativo impregnado na madeira quando esta for instalada. Entretanto, nada impede que ele seja usado de forma satisfatória para o tratamento da madeira com produtos hidrossolúveis.

A seguir é apresentado um gráfico esquemático de um programa para o tratamento da madeira pelo Processo Lowry (fig. 16), onde uma das coordenadas define o tempo de operação e a outra define quando a operação se encontra sob efeito de vácuo ou pressão, e quanto de vácuo ou pressão hidráulica foi procedida.

As linhas azuis do gráfico do esquema de programa de tratamento, apresentado abaixo, além de representarem os procedimentos, também representam situações em que a autoclave se encontra sem solução preservativa em seu interior ou em fase de esvaziamento, enquanto a linha na cor vermelha representa o momento em que a autoclave se encontra com solução preservativa.

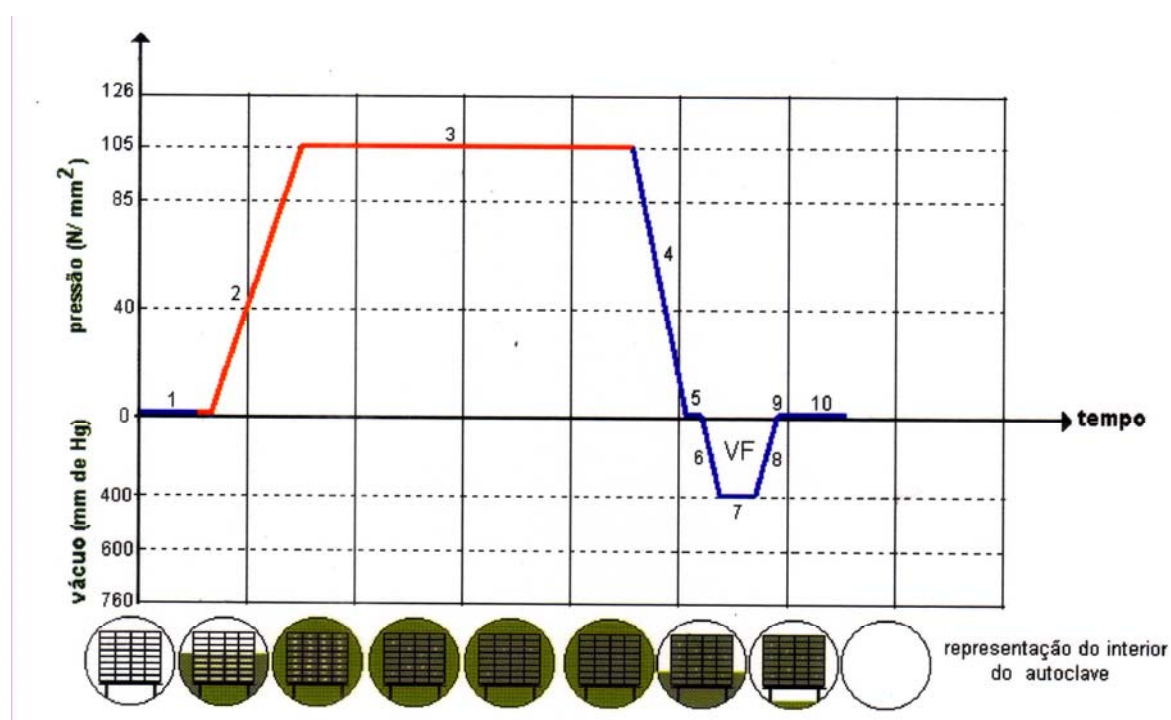


Figura 16. Esquema do programa de tratamento preservativo pelo Processo Lowry.

O funcionamento do processo preservativo é apresentado passo-a-passo na tabela 4, que apresenta de forma relacionada às diferentes ocorrências durante o tratamento preservativo da madeira, no interior da autoclave e no interior da madeira.

TABELA 4. DESCRIÇÃO DE AÇÕES E OCORRÊNCIAS DURANTE O TRATAMENTO DA MADEIRA PELO PROCESSO LOWRY

FASE DE EXECUÇÃO	PROCESSO LOWRY - OCORRÊNCIAS POR FASE	
	DENTRO DA AUTOCLAVE	DENTRO DA/ NA MADEIRA
1	Autoclave aberta – fase de carregamento da madeira e fechamento da porta - madeira e ar na pressão atmosférica	Sem alteração
1	Preenchimento da autoclave com solução preservativa - existência de madeira e solução preservativa	Envolvimento da madeira pela solução preservativa e tênue absorção pelas suas camadas exteriores
2	Criação de pressão hidráulica por bombeamento de solução para o interior da autoclave	Impregnação de solução na madeira, pelo aumento do gradiente de pressão entre o interiores da autoclave e da madeira, e criação de ar comprimido em seu interior
3	Manutenção do sistema sob pressão, com recuperação da pressão por bombeamento de solução na autoclave, até cessar a absorção de solução preservativa pela madeira para alcançar a penetração desejada, ou alcançar um ponto econômico que determine o encerramento desta fase do tratamento	Absorção de solução cada vez mais lenta, por efeito da redução gradativa do gradiente de pressão, até alcançar equilíbrio de pressão entre o interior da madeira e o interior da autoclave, ou alcançar a penetração desejada ou um ponto econômico que determine o encerramento desta fase do tratamento
4	Liberação da pressão hidráulica existente no interior da autoclave com retorno de parte da solução existente em seu interior para o tanque de trabalho (depósito de solução preservativa)	Do início ao final desta fase, grande parte da solução empurrada para o interior da madeira retorna para a autoclave e a madeira já se encontra tratada, mas a autoclave ainda permanece cheia de solução preservativa
5	Remoção da solução existente na autoclave por meio de bomba de transferência, retornando-a para o tanque de trabalho	A madeira se encontra tratada, mas ainda exsudando e com solução em excesso em suas superfícies (superfícies “molhadas”)
6	Aplicação de vácuo fina (VF) com o objetivo de remover o excesso de solução preservativa e promover a limpeza da superfície da madeira	A solução existente nas células das camadas superficiais da madeira é gradativamente drenada, escorrendo para o fundo da autoclave juntamente com excesso de solução que se encontrava nas superfícies da madeira
7	Manutenção do VF	Continuidade da drenagem da solução da madeira sob manutenção do VF, até alcançar estabilidade do vácuo aplicado na autoclave - a madeira ainda permanece com superfícies “molhadas”
8	Liberação do VF aplicado na autoclave e retorno do sistema à pressão atmosférica	O excesso de solução remanescente, existente nas superfícies da madeira, é puxado para o seu interior
9	Drenagem do excesso de solução removida da madeira, por bomba de transferência	A madeira tratada permanece inalterada, a espera da fase de descarregamento
10	Abertura e descarregamento da autoclave	-----

A presente apostila foi elaborada para fins didáticos e seu download e cópia estão disponíveis para qualquer pessoa interessada. Contudo a alteração de seu conteúdo, a transcrição da totalidade ou parte de seu texto, bem como a tradução total ou parcial não estão autorizadas, exceto se devidamente citada a sua fonte.

3.5. Processo Rüeping

O Processo Rüeping foi desenvolvido com o objetivo de obter melhor controle sobre o retorno do produto preservativo impregnado na madeira, com prévia injeção de ar comprimido na madeira antes da admissão de solução no interior da autoclave. Conseqüentemente, melhor se torna o controle do retorno da solução impregnada, da absorção da solução e da retenção de produto preservativo pela madeira tratada.

O processo consiste basicamente dos mesmos procedimentos adotados na execução do Processo Lowry, exceto que na sua fase inicial, após o fechamento da porta da autoclave, se adiciona ar comprimido à autoclave, e conseqüentemente à madeira existente em seu interior. O objetivo a ser alcançado com maior volume de ar comprimido no interior da madeira, é que ele empurre o produto que será impregnado para fora da madeira com maior eficiência quando a pressão hidráulica for relaxada. Com isto se obtêm tratamentos mais uniformes que os alcançados pelo método Lowry anteriormente descrito.

Da mesma forma e com as mesmas considerações efetuadas para o processo de tratamento anterior, este é um método ideal para a utilização de preservativos oleosos e oleossolúveis.

O gráfico esquemático apresentado a seguir representa um programa para o tratamento da madeira pelo Processo Rüeping (fig. 17), onde uma das coordenadas define o tempo de operação e a outra define quando a operação se encontra sob efeito de pressão, tipo de pressão, vácuo, e quanto de pressão ou vácuo foi procedido.

As linhas azuis do gráfico do esquema de programa de tratamento, apresentado abaixo, além de representarem os procedimentos, também representam situações em que a autoclave se encontra sem solução preservativa em seu interior ou em fase de esvaziamento, enquanto a linha na cor vermelha representa o momento em que a autoclave se encontra com solução preservativa. Adicionalmente, a área preenchida em amarelo representa a fase do processo sob a ação de ar comprimido.

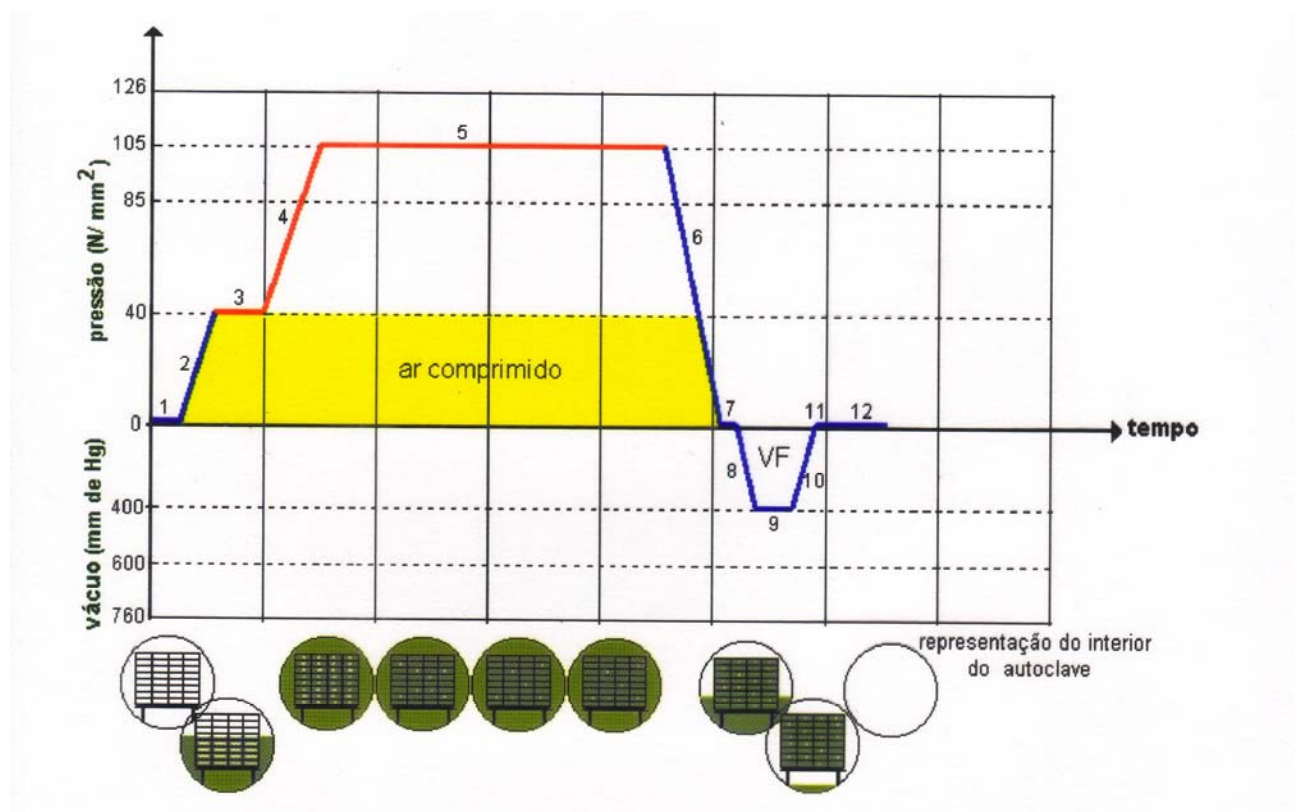


Figura 17. Esquema do programa de tratamento preservativo pelo Processo Rüeping.

O funcionamento do processo preservativo é apresentado passo-a-passo na tabela 5, que apresenta de forma relacionada às diferentes ocorrências durante o tratamento preservativo da madeira, no interior da autoclave e no interior da madeira.

TABELA 5. DESCRIÇÃO DE AÇÕES E OCORRÊNCIAS DURANTE O TRATAMENTO DA MADEIRA PELO PROCESSO RÜEPING

FASE DE EXECUÇÃO	PROCESSO RÜEPING - OCORRÊNCIAS POR FASE	
	DENTRO DA AUTOCLAVE	DENTRO DA/ NA MADEIRA
1	Autoclave aberta – fase de carregamento da madeira e fechamento da porta - existência de madeira e ar, na pressão atmosférica	Sem alteração
2	Injeção de ar comprimido na autoclave	Aumento do volume e da pressão de ar dentro da autoclave e da madeira
3	Preenchimento da autoclave com solução, com a manutenção da pressão exercida pelo ar comprimido - existência de madeira e solução preservativa	Ar comprimido no interior da madeira e envolvimento desta pela solução preservativa, com tênue absorção nas suas camadas superficiais
4	Elevação da pressão hidráulica no interior da autoclave por bombeamento de solução preservativa	Impregnação de solução preservativa na madeira, por efeito do aumento do gradiente de pressão entre o interior da madeira e o interior da autoclave
5	Manutenção do sistema sob pressão, com recuperação da pressão por bombeamento de solução na autoclave, até cessar a absorção de solução preservativa pela madeira, ou alcançar um ponto econômico que determine o encerramento desta fase	Absorção de solução cada vez mais lenta, por efeito da redução gradativa do gradiente de pressão, até alcançar equilíbrio de pressão entre o interior da madeira e o interior da autoclave, ou um ponto econômico que determine o encerramento desta fase
6	Liberação da pressão hidráulica existente no interior da autoclave com retorno de parte da solução existente em seu interior para o tanque de trabalho (depósito de solução preservativa)	Do início ao final desta fase, expansão do ar comprimido do interior da madeira e expulsão de grande parte da solução impregnada em seu interior, que retorna para a autoclave. A madeira já se encontra tratada, mas permanece no interior da autoclave com solução preservativa
7	Remoção da solução existente na autoclave por meio de bomba de transferência, retornando-a para o tanque de trabalho	A madeira se encontra tratada, mas ainda exsudando e com solução em excesso em suas superfícies (superfícies “molhadas”)
8	Aplicação de vácuo final (VF) com o objetivo de remover o excesso de solução preservativa e promover a limpeza da superfície da madeira	A solução existente nas camadas superficiais da madeira é gradativamente drenada, escorrendo para o fundo da autoclave com o excesso de solução que se encontrava nas superfícies da madeira
9	Manutenção do vácuo final	Continuidade da drenagem da solução da madeira sob manutenção do VF, até alcançar estabilidade do vácuo aplicado na autoclave - a madeira ainda permanece com suas superfícies “molhadas”
10	Liberação do VF aplicado na autoclave e retorno do sistema à pressão atmosférica	O excesso de solução remanescente, existente nas superfícies da madeira, é puxado para o seu interior
11	Drenagem do excesso de solução por bomba de transferência	A madeira tratada permanece inalterada, a espera da fase de descarregamento
12	Abertura e descarregamento da autoclave	-----

3.6. Outros processos de tratamento sob pressão de importância

3.6. 1. Processo MSU - madeira seca a 20 - 25% U

O processo MSU foi desenvolvido pelo Dr. William C. Kelso, do Laboratório de Produtos Florestais de Mississipi, em conjunto com Escambia Treating Company, Florida, e anunciado nos Estados Unidos da América em 1977 como um novo método de interesse econômico.

Na prática de tratamento da madeira, o processo pode ser adaptado a qualquer dos processos convencionais sob pressão apresentados anteriormente. A adaptação efetuada sobre os métodos convencionais consiste em substituir a solução preservativa existente no interior da autoclave por água quente ou vapor d água, imediatamente após a fase de impregnação da solução ter ocorrido na madeira. Para tanto, a solução é removida por baixo da autoclave enquanto ar comprimido é introduzido por cima, de forma a manter a pressão estável e, com isso, manter também a solução impregnada no interior da madeira.

Após a remoção de toda solução preservativa existente na autoclave, o ar comprimido é substituído por vapor d água ou por água quente, mantendo-se constante a pressão do interior da autoclave por duas horas, para que ocorra a transferência de temperatura do vapor ou da água (ou da água quente) para a madeira e, por sua vez, para o produto preservativo impregnado. Com isso ocorre a sua precipitação/ fixação de forma acelerada, enquanto a madeira se encontra no interior da autoclave.

Em qualquer das opções acima, ou seja, com a utilização de vapor d água ou de água quente, uma condicionante para proceder a esse processo é o uso do preservativo arseniato de cobre cromatado (CCA), por ser reativo o suficiente para que as reações de fixação do produto ocorram durante a fase de aquecimento, sem perdas por lixiviação de forma significativa.

O tratamento preservativo da madeira pelo Processo MSU é descrito graficamente pelos passos operacionais ilustrados pela figura 18 e descritos na tabela 6 apresentada a seguir.

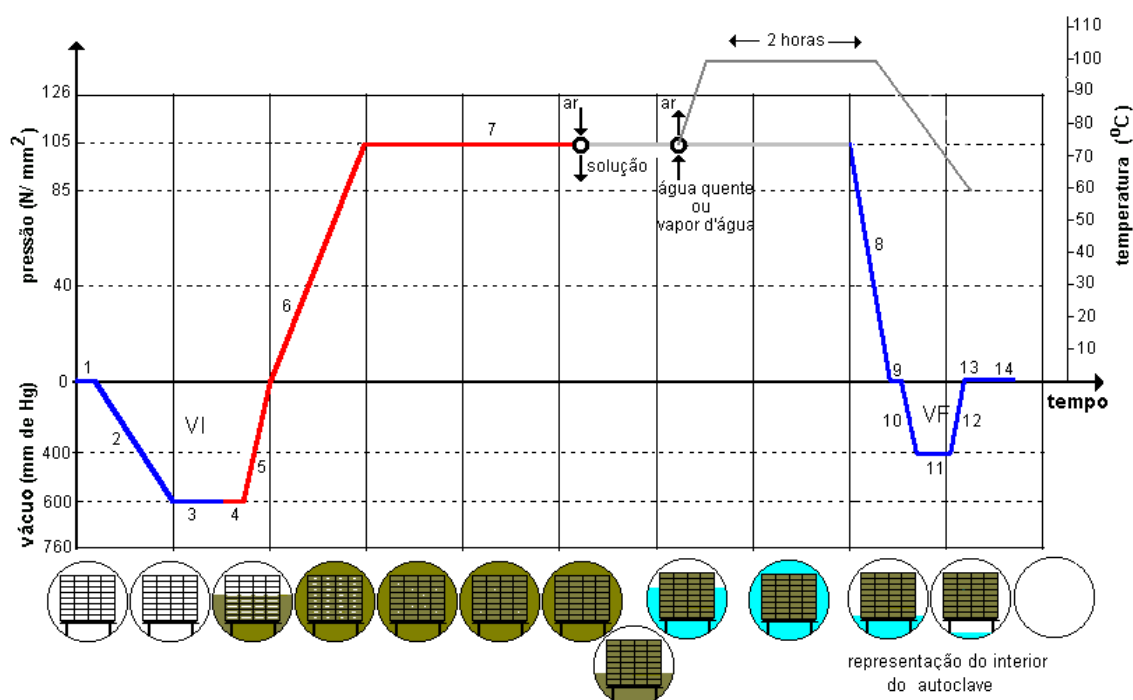


Figura 18. Esquema do programa de tratamento preservativo pelo Processo MSU

TABELA 6. DESCRIÇÃO DE AÇÕES E OCORRÊNCIAS DURANTE O TRATAMENTO DA MADEIRA PELO PROCESSO MSU

FASE DE EXECUÇÃO	OCORRÊNCIAS POR FASE	
	DENTRO DA AUTOCLAVE	DENTRO DA/ NA MADEIRA
1	Autoclave aberta – fase de carregamento e fechamento da porta - ar na pressão atmosférica	Sem alteração
2	Aplicação do vácuo inicial (VI) – início da drenagem do ar da autoclave	Início da drenagem do ar naturalmente existente na madeira – criação de vácuo
3	Manutenção do máximo VI aplicado, por recuperação sistemática, conforme ele é reduzido por efeito da drenagem gradativa do ar da madeira	Saída gradativa do ar existente na madeira para o interior da autoclave, com aumento gradativo de vácuo no seu interior - causa a redução do VI aplicado na autoclave–
4	VI estável ou com queda insignificante e início da admissão de solução preservativa, utilizando-se do vácuo produzido na autoclave	Cessa a saída de ar com o equilíbrio entre o VI e o vácuo criado no interior da madeira, e inicia a penetração da solução preservativa pelo início da admissão de solução preservativa
5	Redução do VI criado por drenagem do ar da autoclave, até atingir a pressão atmosférica	Absorção gradativa da solução preservativa, por efeito do gradiente de pressão criado, ou seja, do vácuo criado no interior da madeira

continua

A presente apostila foi elaborada para fins didáticos e seu download e cópia estão disponíveis para qualquer pessoa interessada. Contudo a alteração de seu conteúdo, a transcrição da totalidade ou parte de seu texto, bem como a tradução total ou parcial não estão autorizadas, exceto se devidamente citada a sua fonte.

continuação

6	Criação de pressão hidráulica por bombeamento de solução para o interior da autoclave, imediatamente após atingir a pressão atmosférica	Aumento da taxa de absorção de solução preservativa pela madeira, por efeito do aumento do gradiente de pressão entre o interior da madeira e o interior da autoclave
7	Manutenção do sistema sob pressão, com recuperação da pressão por bombeamento de solução na autoclave, até cessar a absorção de solução preservativa pela madeira ou alcançar um ponto econômico que determine o encerramento desta fase	Absorção de solução cada vez mais lenta, por efeito da redução gradativa do gradiente de pressão, até alcançar equilíbrio de pressão entre o interior da madeira e o interior da autoclave, ou alcançar um ponto econômico que determine o encerramento desta fase do tratamento
Ar -> Solução ->	Injeção de ar comprimido e remoção de solução preservativa de forma simultânea, sem permitir a redução da pressão da autoclave	Manutenção da solução impregnada no interior da madeira sob efeito do ar comprimido no interior da autoclave
Água quente ou vapor d água ->ar->	Injeção de água quente ou de vapor d água e simultânea remoção do ar comprimido do interior da autoclave, sem permitir a redução de pressão da autoclave. - aquecimento superficial da madeira e irradiação da temperatura para seu interior	Manutenção da solução impregnada no interior da madeira sob efeito da pressão de vapor ou da água quente injetada na autoclave; -início do processo de fixação acelerada dos constituintes do CCA na madeira por, efeito da energia adicionada na forma de calor.
aquecimento	Manutenção do aquecimento do vapor ou da água quente injetada pelo tempo necessário para aquecer o material tratado em toda sua profundidade	-irradiação gradual da temperatura proveniente da água quente ou do vapor d água para o interior da madeira, com simultânea ocorrência de reações de fixação aceleradas do produto CCA na madeira
8	Liberação da pressão hidráulica ou de vapor d água existente no interior da autoclave (ou de água quente) com transferência da água quente, para depósito de água a ser utilizada especificamente em formulações de CCA Para uso neste processo - a autoclave continua cheia de água ou com a água condensada do vapor	Do início ao final desta fase, parte da solução empurrada para o interior da madeira retorna para a autoclave apenas como água contaminada, pois praticamente todos os constituintes do preservativo foram já fixados na madeira
9	Remoção da água que ainda preenche a autoclave, ou da água condensada, por meio de bomba de transferência - retorno para o depósito de água	A madeira se encontra tratada, mas ainda exsudando e com água em excesso em suas superfícies (superfícies "molhadas")
10	Vácuo final para remover o excesso de água da superfície da madeira	A água existente nas células das camadas superficiais da madeira é gradativamente drenada, escorrendo para o fundo da autoclave
11	Manutenção do VF	Continuidade da drenagem da água da madeira sob manutenção do VF, até alcançar estabilidade do vácuo aplicado na autoclave - a madeira ainda permanece com suas superfícies "molhadas"
12	Liberação do VF aplicado na autoclave e retorno do sistema à pressão atmosférica	O excesso de água remanescente, existente nas superfícies da madeira, é puxado para o seu interior
13	Drenagem do excesso de água removida da madeira, por bomba de transferência	A madeira tratada permanece inalterada, a espera da fase de descarregamento
14	Abertura e descarregamento da autoclave	-----

3.6. 2. Processo Cellon® ou Drilon

Este processo faz parte do rol dos “processos de recuperação de solventes”, nos quais se utilizam solventes orgânicos cuidadosamente escolhidos, para que possam ser recuperados depois da solução preservativa ser impregnada na madeira.

O princípio do Processo Cellon é que um veículo-solvente que leva o produto preservativo para o interior da madeira seja posteriormente evaporado e recuperado, deixando apenas o preservativo na madeira enquanto ela ainda se encontra no interior do cilindro de tratamento.

A solução de tratamento é composta por veículos de baixo ponto de ebulição, no qual o preservativo é dissolvido. Entretanto, se o preservativo não for prontamente solúvel no veículo, um solvente auxiliar deverá fazer parte da solução de tratamento.

O processo Cellon pode ser utilizado tanto no sistema de célula cheia como no de célula vazia, mas o primeiro deles é o mais simples e geralmente o mais praticado.

Uma formulação de tratamento que tem sido usada comercialmente no Processo Cellon consiste de gás liquefeito de petróleo (GLP), solvente auxiliar e preservativo, respectivamente. Após a fase de impregnação da solução, O GLP (butano) e o éter isoprolílico (solvente auxiliar), por serem extremamente voláteis, são evaporados da madeira e posteriormente recuperados, restando o preservativo (pentaclorofenol) no interior da madeira, na forma de cristais, em dimensões maiores que as das passagens naturais da madeira.

Procedimentos usados para o tratamento de célula cheia:

Depois da madeira ser colocada no cilindro de tratamento e ele ser hermeticamente fechado, toda planta de tratamento é limpa com um gás inerte (ar comprimido). Subseqüentemente é aplicado vácuo ao sistema e então o cilindro é preenchido com a solução de tratamento.

Após a admissão de solução preservativa, esta é forçada a penetrar profundamente na madeira. Para tanto, esta operação pode ser acompanhada com o aquecimento da solução para aumentar a pressão de vapor, ou pela pressão de gás proveniente de um tanque auxiliar conectado ao sistema.

A presente apostila foi elaborada para fins didáticos e seu download e cópia estão disponíveis para qualquer pessoa interessada. Contudo a alteração de seu conteúdo, a transcrição da totalidade ou parte de seu texto, bem como a tradução total ou parcial não estão autorizadas, exceto se devidamente citada a sua fonte.

Enquanto a pressão varia com a espécie de madeira e o estado em que ela se encontra, após o período de secagem, esta fase normalmente é de menor duração que os períodos de pressão adotados nos tratamentos convencionais, justificada pela menor viscosidade da solução preservativa usada e da rápida penetração.

Quando o volume de solução preservativa desejado tiver penetrado na madeira, a solução do cilindro é levada de volta para o tanque de trabalho. Só então se aplica vácuo no sistema, com o objetivo de reduzir o ponto de ebulição do veículo-solvente e promover a evaporação da solução existente na madeira. Na seqüência o vapor é coletado, resfriado, condensado e levado de volta para o tanque de trabalho na forma líquida, completando assim o ciclo de tratamento.

TABELA 7. VANTAGENS E DESVANTAGENS COM A UTILIZAÇÃO DO PROCESSO CELLON®

PROCESSO CELLON®	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Economia de solventes orgânicos – nada ou muito pouco é consumido	Necessidade de sistema hermeticamente fechado
O tratamento efetuado alcança penetração profunda com rapidez	Necessidade de equipamentos robustos
A madeira entra e sai do cilindro de tratamento com o mesmo teor de umidade	Necessidade de equipamentos custosos
A madeira tratada sai do cilindro pronta para uso	Riscos de explosão
A madeira tratada continua com a mesma aparência de antes do tratamento	
A madeira tratada aceita materiais de acabamento da mesma forma que madeira não tratada	

ANEXO

ALGUNS TIPOS DE CILINDROS DE PRESERVAÇÃO, OBJETIVANDO DIFERENTES TI- POS DE TRATAMENTOS DA MADEIRA



Figura 1. Planta de tratamento com autoclave de seção transversal retangular, utilizada para o tratamento da madeira pelo processo **duplo-vácuo**.



Figura 2. Planta de tratamento com autoclave de seção transversal circular, utilizada para o tratamento da madeira por processos que utilizam **vácuo e pressão**.



Figura 3. Planta de tratamento com autoclave de seção transversal circular, utilizada para o tratamento da madeira pelo **Processo Poulain**, com movimento rotatório para colocá-la na posição vertical, permitindo tratamento adicional de creosoto na parte basal de postes.