

BIODEGRADAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA MADEIRA
2.013

VOLUME I

Biodegradação da Madeira



SUMÁRIO - VOLUME I

	PÁGINA
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. PRINCIPAIS AGENTES DETERIORADORES	2
2.1. BACTÉRIAS	2
2.2. FUNGOS	4
2.2.1. Considerações gerais	4
2.2.2. Requerimentos para que ocorra o desenvolvimento de fungos	4
2.2.3. CONTROLE DA DETERIORAÇÃO DA MADEIRA POR FUNGOS	9
2.2.3.1. Madeiras impregnadas com substâncias tóxicas.....	10
2.2.3.1.1. Substâncias impregnadas pela própria árvore... ..	10
2.2.3.1.2. Substâncias tóxicas impregnadas por outros indivíduos.....	10
2.2.4. DANOS CAUSADOS À MADEIRA POR FUNGOS	10
2.2.4.1. Podridão Parda	10
2.2.4.2. Podridão Branca	11
2.2.4.3. Podridão mole	12
2.2.4.4. Manchas	13
2.2.4.5. Bolor	21
2.3. MANCHA QUÍMICA OU ENZIMÁTICA	22
2.4. INSETOS	23
2.4.1. Ordem coleóptera	23
2.4.1.1. Família Lyctidae	23
2.4.1.2. Família Bostrechidae	26
2.4.1.3. Família Anobiidae	26

	PÁGINA
2.4.1.4. Besouros Ambrósia	30
2.4.1.4.1. Família Platypodidae	32
2.4.1.4.2. Família Scolytidae	33
2.4.2. Algumas Medidas de Controle para coleópteros	36
2.4.3. Ordem Hymenóptera	37
2.4.4. Ordem Isóptera.....	39
2.4.4.1. Cupins de solo ou subterrâneos.....	41
2.4.4.2. Cupins de madeira seca.....	44
2.5. BROCAS MARINHAS.....	45
2.5.1. Limnoria.....	45
2.5.2. Teredos.....	47
2.5.3. Medidas de controle contra brocas marinhas.....	48
2.5.3.1. Uso de madeiras com resistência natural.....	48
2.5.3.2. Uso de madeiras tratadas.....	48
2.5.3.3. Outras formas de controle.....	49

LISTA DE FIGURAS – VOLUME I

FIGURAS	PÁGINA
1	Ataque à madeira por bactérias.....3
2	Características de madeiras atacadas por fungos de “podridão Parda” 11
3	Características de madeira atacada por fungos de “podridão Branca” 12
4	Características de madeiras atacadas por fungos de “podridão mole.....12
5	Características de madeira atacada por “fungos manchadores”.....15
6	Aparência de madeira atacada por bolor (fungo: <i>Trichoderma</i> spp.)21
7	Aspectos do coleóptero <i>Lyctus bruneus</i>25
8	<i>Lyctus bruneus</i> e cavidade celular contendo amido 26
9	Coleóptero da Família Bosterchidae, <i>Amphicerus bicaudatus</i>27
10	<i>Anobium punctatum</i>29
11	<i>Anobium punctatum</i> e material atacado.....30
12	Danos causados por <i>Platypus</i> spp. 31
13	<i>Platypus flavicornis</i> 32
14	Características de material atacado e besouros da família Scolytidae35
15	Superfície de tora atacada com larvas de besouro de casca 35
16	Madeira atacada e formigas <i>Camponotus pennsylvanicus</i>38
17	Diferença morfológica entre cupins de madeira seca e cupins de solo 39
18	Sinais de ataque de cupins de solo em edificações e na madeira 42
19	Técnicas de construção para prevenir o ataque de cupins subterrâneos43
20	Sinais de ataque de cupins de madeira seca 45
21	Exemplares de <i>Limnoria</i> , forma de ataque e dano tipo ampulheta 47
22	Madeira atacada por <i>Teredo navalis</i> 48

BIODEGRADAÇÃO DA MADEIRA

1. INTRODUÇÃO

A madeira ocupa uma posição destacada em relação a outros materiais, pois apresenta uma ampla gama de aplicações. Suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, aliadas à versatilidade deste material como elemento decorativo, são responsáveis pela sua inclusão em boa parte dos projetos arquitetônicos e de engenharia, bem como na industrialização de móveis, instrumentos musicais e vários outros tipos de produtos.

A madeira é um material renovável e importante, mas pode ser deteriorada por agentes biológicos, por reações químicas e outros agentes, que causam prejuízos a ambos, produtores e consumidores, tanto no que se refere ao material como na mão-de-obra para substituí-lo.

A deterioração e/ou degradação de materiais de origem renovável são necessárias e essenciais no balanço natural para a continuidade do reaparecimento destes mesmos materiais em data futura, pois exige a disponibilidade de elementos simples como o carbono, oxigênio e hidrogênio na sua composição: Enquanto o dióxido de carbono retorna para o ar com a deterioração de produtos, a água, sais minerais e outros elementos retornam para o solo e tornam-se novamente disponíveis para o surgimento/ desenvolvimento de novas plantas, animais ou outros produtos.

Embora a deterioração e/ou a degradação química de produtos sejam importantes para disponibilizar os elementos químicos simples, necessários na formação e desenvolvimento de novos seres vivos ou de produtos de consumo para a humanidade, a presente apostila terá como assunto específico a deterioração/ degradação da madeira.

No decorrer de milhões de anos de evolução a natureza selecionou organismos que obtêm alimento direta ou indiretamente da madeira. Entre eles, se incluem bactérias, fungos, insetos, moluscos e crustáceos, que decompõe a madeira para utilizar parcial ou totalmente os seus constituintes como fonte de energia.

Os agentes físicos e químicos atuam em conjunto com os biológicos na madeira, acelerando o processo de deterioração. Destes agentes, os biológicos são os de maior

importância, sendo os fungos os responsáveis pela maior proporção de danos causados à madeira, uma vez que eles ocorrem com maior frequência neste tipo de material.

2. PRINCIPAIS AGENTES DETERIORADORES DA MADEIRA

Normalmente, em cada ambiente que a madeira é utilizada (nicho ecológico), ocorre uma combinação de organismos que podem atacá-la simultaneamente. Contudo, embora eles dificilmente ocorram de forma isolada neste material, para melhor compreendê-los há necessidade de analisá-los desta forma, para cada tipo de agente em particular.

2.1. BACTÉRIAS

As bactérias atacam a madeira no estado úmido. Esta condição pode ser possível quando a madeira é recém cortada, ainda na forma de tora, está úmida na forma de peças ou lâminas após o processamento industrial primário, está submersa em água ou, por alguma razão, venha a readquirir umidade.

O ataque por bactérias é feito de forma lenta, inicialmente com a utilização dos materiais de reserva existentes nas células parenquimáticas que formam o tecido radial e, posteriormente, nas paredes celulares deste tecido e de tecidos vizinhos formados por traqueóides, fibras e vasos.

Como resultado do ataque de bactérias, com predominância nas células radiais e tecidos vizinhos, estes são consumidos criando uma perfuração na madeira no sentido perpendicular à grã e a madeira se torna mais higroscópica. A este tipo de dano, denomina-se "**perfuração radial**".

A alteração da higroscopicidade da madeira é normalmente indesejada, pois geralmente é responsável por problemas durante a sua secagem e na sua utilização: Embora a secagem natural seja favorecida pela existência das perfurações radiais produzidas pelas bactérias, qualquer precipitação pluviométrica rápida a tornará úmida novamente, com rapidez, estendendo o tempo total de secagem e de susceptibilidade ao ataque deste material por outros agentes xilófagos, adaptados à madeira no estado úmido.

As enzimas das bactérias atacam principalmente a pectina, a celulose e a lignina da madeira. Além do ataque enzimático, as bactérias podem produzir substâncias que inibam (mais usual) ou favoreçam o desenvolvimento de outros agentes, como exemplo disso podemos citar a produção de produtos antibióticos ou a fixação nitrogênio na madeira.

Pelas razões acima, mesmo que as bactérias deteriorem a madeira de forma lenta e somente enquanto ela estiver no estado úmido, estes agentes desempenham um papel importante na biodeterioração: Na madeira úmida ou com elevado teor de umidade, são os primeiros organismos a se instalarem, ocupam todo o espaço físico da superfície do material com rapidez e normalmente promovem interações com outros tipos de organismos xilófagos.

Produtos de madeira confeccionados com adesivos que contêm amido como extensor, ou outros produtos que sirvam como nutrientes para bactérias, como é o caso de painéis compensados, se expostos a umidade poderão sofrer deterioração da linha de cola, causando a sua delaminação.

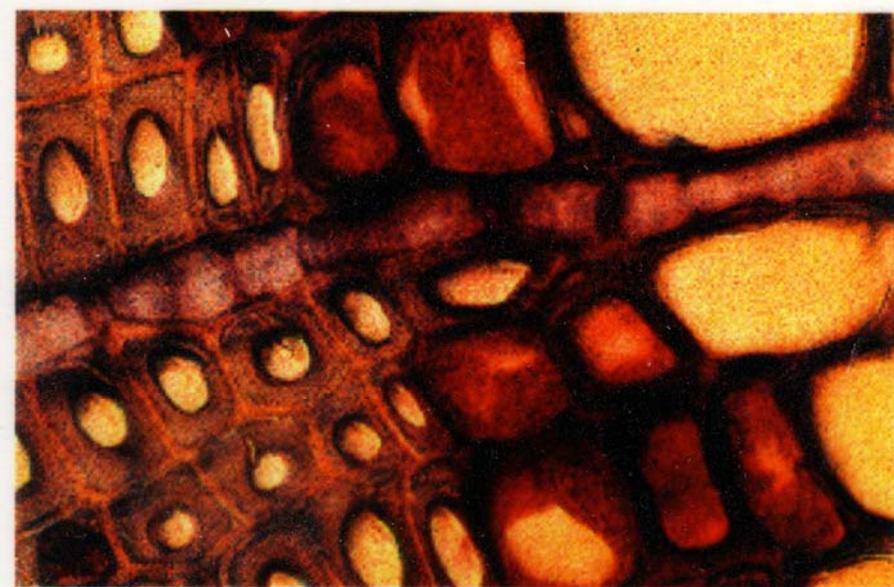


Figura 1: Ataque da madeira por bactérias: Bactérias no interior das cavidades celulares (na coloração vermelha), oriundas da parte externa da madeira através das células parenquimáticas radiais.

A figura 1 mostra também ocorrer ausência de algumas paredes das células radiais, que por serem delgadas já foram deterioradas pelas bactérias, bem como que algumas células do tecido vizinho (paredes de fibras e originalmente com maior espessura) já estão se tornando com paredes delgadas pela ação enzimática bacteriana.

2.2. FUNGOS

2.2.1. Considerações Gerais

Exceto no que se refere às bactérias, os fungos são os agentes biológicos que atacam a madeira em maiores proporções, pois se desenvolvem com rapidez e ocorrerem em praticamente quase todos os nichos ecológicos onde ela é utilizada. O mesmo não acontece com outros tipos de agentes xilófagos, por necessitarem condições mais específicas para a utilização da madeira ou de seus constituintes como fonte de alimento.

Usualmente as condições climáticas mais quentes são as mais favoráveis para o desenvolvimento de fungos. Por tal razão toras cortadas em florestas tropicais frequentemente se tornam infectadas rapidamente por fungos, antes de chegarem a ser processadas pela indústria primária. Contudo, durante períodos frios e principalmente em países de clima temperado, o mesmo não acontece, possibilitando maior flexibilidade à indústria em termos de necessidade do controle da biodeterioração da madeira por estes agentes.

2.2.2. Requerimentos para que ocorra o desenvolvimento de fungos na madeira:

Para que algum tipo de fungo possa se instalar na madeira, e uma vez instalado possa se desenvolver e utilizar os seus constituintes, são necessárias de algumas condições básicas, as quais se relacionam à fonte de alimento, teor de umidade da madeira, temperatura, teor de oxigênio livre e ao seu pH.

Praticamente, como a condição ideal para o desenvolvimento de uma espécie de fungo é diferente em relação às das demais, a madeira poderá ser instalada e deteriorada dentro de uma grande variedade de ambientes, por diferentes espécies de fungos. Assim, a ocorrência de uma ou mais espécies de fungos instalados na madeira está em função das condições favoráveis em

que estes organismos encontram neste material, bem como da compatibilidade existente entre eles.

Pelas razões citadas acima, exceto em alguns casos, como a bem conhecida associação de fungos emboloradores com fungos manchadores, é comum observarmos ocorrer um único tipo de fungo ativo no processo de deterioração de uma peça de madeira / produto de madeira, por ele ser dominante sobre os demais nas condições específicas em que a madeira se encontra.

É óbvio que se tivermos uma única peça de madeira submetida a variações das condições necessárias para o desenvolvimento de fungos, como no caso de postes de madeira em uso, teremos também variação na ocorrência de espécies de fungos atuantes nesta peça, cada uma delas dentro do nicho ecológico em que ela encontra melhores condições de adaptação.

Em função do exposto acima, os fungos se instalam e se desenvolvem de forma seletiva na madeira, em função das variações e das combinações (interações) possibilitadas entre os fatores apresentados a seguir:

- Fonte de alimento: Material orgânico

Como estamos nos referindo apenas a fungos especializados em obter alimento da madeira, o material orgânico em questão diz respeito à celulose, hemicelulose e lignina como constituintes do material lenhoso, e aos extrativos da madeira.

Os extrativos são considerados uma grande fonte de variação, e são os responsáveis pela maior ou menor suscetibilidade da madeira a fungos e outros agentes deterioradores ou, em sentido oposto, pela “resistência natural” deste material.

Enquanto os extrativos de algumas espécies de madeira são ricos em amido e/ou açúcares, e por isso promovem a deterioração deste material pelos fungos e outros agentes xilófagos, os de outras espécies podem ser ricos em compostos fenólicos ou outros tipos de compostos com ação biocida, conferindo-lhes mais durabilidade em condições ambientais favoráveis a estes agentes deterioradores.

- Temperatura

Segundo a literatura, a temperatura ótima para o desenvolvimento de fungos xilófagos está situada no intervalo de 24 a 32 °C. As temperaturas de 0° C e 46° C são citadas como temperaturas de inibição e letal, respectivamente, mas ocorrem exceções, como para o caso dos fungos termofílicos que eventualmente se desenvolvem na madeira durante o processo de secagem artificial, e têm capacidade de se desenvolver entre as temperaturas de 5 ° C a 65° C.

Sobre os fungos termofílicos, embora eles possam se desenvolver de forma isolada em temperaturas baixas, a partir de 5°C, normalmente não são observados na madeira quando as condições são mais propícias para o desenvolvimento de outras espécies de fungos. Mas eles encontram condições favoráveis de desenvolvimento quando os seus concorrentes naturalmente ficam em desvantagem, se tornando os dominantes em temperaturas mais altas ou com a combinação temperatura e demais variáveis do ambiente.

- pH

Todos os esporos de fungos xilófagos, durante as fases de germinação e crescimento, mostram uma preferência distinta por ambientes ácidos, mas alguns são capazes de crescer em substratos alcalinos, com pH muito superior ao ponto neutro (pH 7).

Valores ótimos para o desenvolvimento de fungos xilófagos se encontram entre 4,5 a 5,5, que coincidem com os valores do pH da madeira da maioria das espécies florestais. No entanto, tem sido reportado ser possível o desenvolvimento destes organismos dentro do intervalo de pH de 2,0 a 9,0.

Como para as demais variáveis ora em discussão, o fato do pH ideal para fungos xilófagos se encontrar dentro de um intervalo correspondente ao pH da maioria das espécies de madeira não traz nenhuma surpresa, pois não se trata de uma coincidência, tendo em vista que a natureza adaptou estes indivíduos por milhões de anos para utilizar os constituintes da madeira como fonte de energia.

- **Oxigênio**

Os fungos xilófagos necessitam do oxigênio que eles capturam direta ou indiretamente do ar. Comparativamente a uma situação normal, eles precisam de pouco oxigênio e parecem manter o seu desenvolvimento normal em níveis de oxigênio no ar muito abaixo de 20%.

Segundo a literatura, teores de oxigênio de aproximadamente 1% já permitem o desenvolvimento de fungos e, quanto maior ele for, até o teor de oxigênio normal na atmosfera, maior será a atividade destes microrganismos deterioradores. Concentrações de oxigênio abaixo de 1% restringem ou inibem o desenvolvimento de fungos na madeira.

- **Teor de umidade**

Teoricamente o teor ideal de umidade de certa madeira suscetível seria aquele coincidente ao seu ponto de saturação das fibras (PSF), pois neste ponto se encontrariam no seu interior todas as condições citadas acima (alimento, temperatura, pH e oxigênio livre), além de espaço físico para o fungo se propagar, e a parede celular ainda estaria saturada de umidade, o que permitiria uma rápida difusão das enzimas produzidas pelos fungos para a sua hidrólise. Entretanto os fungos já encontram as condições ideais na superfície da madeira enquanto ela ainda não perdeu sua umidade interior para chegar ao PSF, e se desenvolvem gradativamente a partir da superfície para o interior da madeira, à medida que encontram estas condições no decorrer de sua secagem.

De forma específica, são consideradas ideais as seguintes faixas de teor de umidade na madeira, para os diferentes tipos de fungos que se utilizam deste material como fonte de alimento:

- **Acima de 20 % U para fungos manchadores e emboloradores**

Estes fungos se desenvolvem bem em madeiras com teores de umidade superiores a 30 %, mas também podem se desenvolver entre 20 e 30%, intervalo este que pode ser proporcionado pela adsorção de vapor d'água pela madeira, quando a umidade relativa do ar for igual ou superior a 90 %, por tempo prolongado.

- **De 20 a 40 % U para fungos de podridão seca**

Podridão Seca é um termo dado à **Podridão Parda** causada por apenas algumas espécies de fungos que deterioram a madeira de edificações sem fonte de umidade aparente.

De fato, mesmo que estes tipos de fungos não possam crescer em madeira seca, o tipo de podridão que eles causam se diferencia dos demais por eles desenvolverem cordões especiais formados por hifas (rizomorfas), algumas vezes com até 20mm de diâmetro, para transportar água de madeira já atacada e úmida à madeira ainda seca, por vários metros de distância.

Este tipo de podridão é conhecido há centenas de anos e tem causado incalculáveis quantidades de danos em edificações de países com climas temperados.

Fazem parte deste grupo de fungos os conhecidos por *Serpula lacrymans*, ocorrendo predominantemente no Reino Unido e no norte da Europa, e *Poria incrassata* ou *Serpula incrassata*, com ocorrência predominante nos Estados Unidos;

- De 40 a 60 % U para fungos de podridão úmida

Os outros tipos de fungos que causam podridão da madeira podem ser convenientemente agrupados como fungos de podridão úmida, independentemente de se tratarem de fungos que causem os danos conhecidos como "**Podridão Parda**" ou "**Podridão Branca**".

Apesar dos fungos de podridão úmida crescerem melhor em madeiras levemente úmidas, como a utilizada em telhados e outras situações de edificações sujeitas ao gotejamento ou à condensação de água, eles requerem maior teor de umidade na madeira que os de podridão seca e também causam danos expressivos na madeira para uso externo, onde ocorre sua umidificação de forma persistente.

Dentre as espécies de fungos de podridão úmida mais conhecidas, causadoras do tipo de deterioração supracitada, encontra-se a *Coniophora putanea*, anteriormente conhecida como *Coniophora cerebella*, como uma das mais citadas na literatura.

- De 30 a 80 % U para fungos de podridão mole

Os fungos de podridão mole toleram uma ampla variação de teor de umidade e normalmente estão relacionados à deterioração da madeira com elevado teor de umidade. De uma forma geral, pouco se sabe sobre o teor mínimo de umidade que torna a madeira suscetível ao ataque destes fungos, mas certamente ela é mais suscetível ao ataque entre 40 a 80 % de teor de umidade.

2.2.3. CONTROLE DA DETERIORAÇÃO DA MADEIRA POR FUNGOS

O controle da deterioração de madeiras suscetíveis a fungos é normalmente feito com o uso de produtos químicos, tóxicos aos organismos adaptados a este tipo de substrato. No entanto, a simples manipulação das variáveis necessárias para o desenvolvimento de fungos na madeira é uma das alternativas existentes e poderá ser uma prática economicamente viável.

A rigor, desde que as variáveis oxigênio, pH, temperatura e teor de umidade da madeira devam estar dentro de um dado intervalo para possibilitar que fungos se instalem e se desenvolvam na madeira, qualquer uma delas, quando manipuladas para situá-las fora do intervalo favorável aos fungos, poderá impedir ou limitar a atividade biológica deste tipo de agente deteriorador.

Dentre as possibilidades de controle da deterioração existentes, pode-se usar com vantagens econômicas algumas delas em função das necessidades e objetivos a serem atingidos, do valor do material, das facilidades industriais existentes, entre outros fatores, como a rápida redução do teor de umidade ou a eliminação do ar (e do oxigênio livre) em contato com a superfície da madeira.

Algumas práticas para impedir a deterioração da madeira por fungos são descritas a seguir:

a) Eliminação da umidade: A secagem artificial da madeira é normalmente a forma mais eficiente de controle de fungos, mas está em função da agilidade da empresa no desdobro da tora após o corte da árvore, e limitada à existência de secadores adequados para esta finalidade. Por outro lado, a secagem da madeira também pode ser conseguida naturalmente, mas normalmente mantendo-a em situações favoráveis para o desenvolvimento de fungos por períodos mais prolongados.

b) Eliminação do oxigênio: As práticas mais usuais para a eliminação do oxigênio incidente sobre a superfície da madeira consistem em: a) submergir este material em água; b) enterrá-lo a profundidades livres de aeração do solo, ou; c) mantê-lo sob pulverização de água intermitente, para criar uma lâmina de água sobre a superfície da madeira, isolando-a assim do oxigênio livre existente no ar.

c) alteração do pH: A alteração do pH da madeira eventualmente pode ser justificada pelo valor do material a ser protegido, mas o custo dos produtos para este propósito, como exemplo o do nitrato de acrílico, normalmente torna o tratamento economicamente inviável.

2.2.3.1. Madeiras impregnadas com substâncias tóxicas

2.2.3.1.1. Substâncias tóxicas impregnadas pela própria árvore

Existem substâncias tóxicas impregnadas naturalmente na madeira de varias espécies florestais. A sua presença na madeira, normalmente é a responsável pela transformação da madeira do lenho juvenil/alburno em madeira de cerne, com certa durabilidade, a que denominamos “**resistência natural da madeira**”.

A resistência natural das madeiras que contém substâncias tóxicas a organismos xilófagos é variável, em função dos organismos/interações que possam ocorrer nas condições ambientais em que elas são utilizadas e, principalmente, entre os tipos de substâncias que são impregnadas naturalmente e o agente xilófago mais adaptado às condições em que a madeira se encontra.

2.3.1.2. Substâncias tóxicas impregnadas por outros indivíduos

Além das substâncias produzidas e impregnadas na madeira pela própria árvore, substâncias de origem microbiológica poderão ser encontradas na madeira (ex.: antibióticos) ou, mais usualmente, quando impregnadas artificialmente pelo homem.

2.2.4. DANOS CAUSADOS À MADEIRA POR FUNGOS

Entre os fungos xilófagos, existem os que consomem todo o material que constitui a madeira. No entanto, alguns deles utilizam predominantemente parte deste material, como exemplo os causadores da “podridão parda”, que praticamente deterioram apenas a celulose e a hemicelulose, e os “manchadores”, que atacam a madeira em função do material de reserva existente nos lumens das células, nos vasos e nos canais resiníferos.

2.2.4.1. Podridão parda

Principais fungos causadores: Basidiomicetos

Características da madeira atacada: A madeira atacada por fungos causadores de podridão parda, quando seca, apresenta o aspecto de estar levemente queimada, adquirindo coloração parda.

A mudança da madeira em aspecto, desta forma, é devida à contínua deterioração da celulose e da hemicelulose, ficando a lignina praticamente intacta e mantendo a estrutura original da madeira enquanto o material se encontra no estado úmido. Por outro lado, quando ele seca, a estrutura mantida pela lamela média (lignina) sofre colapso com facilidade, separando-se em blocos pelo desenvolvimento de fissuras paralelas e perpendiculares à direção da grã da madeira.

Devido ao consumo da celulose e da hemicelulose da madeira, ocorre também uma proporcional perda de peso e diminuição de sua resistência.



Fig.2: Características de madeiras atacadas por fungos de “podridão parda”.

2.2.4.2. Podridão branca

Principais agentes causadores: Basidiomicetos

Características da madeira atacada: A madeira atacada por fungos causadores de podridão branca perde o seu aspecto lustroso e sua cor natural, tornando-se esbranquiçada, como resultado da destruição de seus pigmentos. Comumente observam-se linhas escuras demarcando o limite entre as regiões atacada e não atacada. Quanto à aparência, não existem outras características que indiquem o tipo de podridão ocorrida na madeira.

Além do aspecto da madeira atacada, ocorre uma progressiva perda de peso e da resistência da madeira, pelo contínuo consumo da celulose, da hemicelulose e da lignina.



Figura 3: Características de madeiras atacadas por fungos de “podridão branca”.

2.2.4.3. Podridão mole

Principais fungos causadores: Ascomicetos e Schizomicetos.

Características da madeira atacada: O ataque por fungos causadores de podridão mole se restringe à superfície da madeira, dificilmente penetrando mais que 2 cm de profundidade. Contudo, a parte sã sob a região atacada pode ser facilmente exposta e prontamente deteriorada, pela fácil remoção mecânica do material atacado.

Quando no estado úmido, a madeira com podridão mole apresenta sua superfície amolecida; ao secar a superfície apresenta coloração escurecida, áspera e com várias fissuras no sentido das fibras. Também como nos casos anteriores, por se tratar de podridão por fungos que se utilizam da madeira como fonte de energia, a região da madeira atacada progressivamente perde peso e suas propriedades de resistência.



Fig.4: Características de madeiras atacadas por fungos de “podridão mole”: Tábua usada como moldura de canteiro.

2.2.4.4.. Manchas

Principais fungos causadores: Ascomicetos do gênero *Ceratocistis* e Deuteromicetos.

Características da madeira atacada: A madeira atacada por fungos manchadores adquire coloração que a desvaloriza comercialmente para várias finalidades. No entanto, a perda de peso e das propriedades mecânicas não é observada a níveis significativos. Por tal razão, o dano causado por fungos manchadores é considerado como deterioração secundária da madeira.

Forma de ataque: Normalmente os fungos manchadores se desenvolvem a partir de esporos ou fragmentos de hifas que entram em contato com a superfície da madeira, penetrando nas cavidades celulares e normalmente se proliferando de célula para célula pelas pontuações, em toda a profundidade da madeira de alburno. Somente a madeira de alburno de espécies suscetíveis é atacada, sendo a de cerne imune a estes fungos.

Como consequência da forma de ataque, quando manchas causadas por fungos são observadas na madeira, elas são apenas um resultado da reflexão da luz incidente sobre as hifas pigmentadas e pigmentos liberados pelas hifas nos espaços vazios existentes na madeira. As paredes celulares são mantidas com sua coloração natural e praticamente íntegras, exceto pela existência de algumas perfurações diminutas efetuadas por meio de apressórios, para eventual passagem de hifas de uma célula para outra através das paredes.

Além da descoloração da madeira pela existência de material pigmentado nas suas cavidades celulares, ela se torna impermeável com a obstrução das suas pontuações pelas hifas do fungo. Tal efeito é tido como negativo e bastante significativo na fase de secagem ou quando se pretende impregnar a madeira com algum tipo de solução, como nas práticas de preservação ou de polpação da madeira na indústria de papel.

A penetração das hifas inicia-se tão logo ocorra a germinação dos esporos que estão em contato com a madeira (nutrientes e umidade existentes na madeira) e, devido a sua velocidade de penetração, em cerca de 48 horas de exposição da madeira ao ambiente, normalmente a aplicação de vários produtos preservativos já não é tida como uma medida de controle eficaz. De fato, por mais que não se possa evitar a penetração destes fungos sem tratar a madeira imediatamente após a sua exposição ao ambiente, a sua descoloração ainda poderá ser evitada em tempo mais prolongado, com a aplicação de alguns produtos químicos capazes de se difundir até a profundidade já atingida pelos fungos, antes que ocorra a pigmentação.

Segundo a literatura, a velocidade de penetração de fungos manchadores é diferente nos três sentidos anatômicos da madeira, como apresentado no Quadro 1, a seguir.

Apesar da falta de informações sobre a espécie de fungo e/ ou da madeira, e de outros fatores de importância relacionados ao desenvolvimento de fungos a que os dados abaixo se referem, o quadro a seguir nos dá uma boa idéia do quão rápido estes fungos se propagam.

Quadro 1. VELOCIDADE DE PENETRAÇÃO DE FUNGOS MANCHADORES NA MADEIRA

DIREÇÕES			/	DADOS DISPONÍVEIS
Radial	:	Tangencial	:	Longitudinal
3,0 mm	:	1,2 mm	:	5,5 mm em 48 horas
2,0 mm	:	1,0 mm	:	9,0 mm em alburno de Pinus spp.

Com o que se apresenta no quadro 1, tem-se claramente que as hifas dos fungos manchadores avançam com maior rapidez no sentido anatômico longitudinal, em seguida no sentido radial e finalmente no sentido tangencial, o que não causa nenhuma surpresa se considerarmos as distâncias livres existentes no interior dos capilares da madeira, para as hifas percorrerem livremente nestas três direções.

Como no sentido longitudinal ocorre maior velocidade de penetração dos fungos a partir da superfície da madeira exposta, ele de fato é o de maior importância quando se pretende proteger a madeira na forma de tora. Todavia, de forma incorreta muitas indústrias madeireiras normalmente se preocupam mais com a proteção dos topos das toras que o com a madeira exposta das bases dos galhos, cortados junto às suas superfícies, que têm material lenhoso dirigido para o centro das toras no mesmo sentido anatômico (longitudinal) e atinge grande profundidade ao longo de grande parte de seu comprimento.

Vale lembrar que se considerarmos a maior velocidade no sentido longitudinal em 48 horas, apresentado no quadro 1, após de 30 dias do corte teríamos 13,5 cm de penetração do fungo na madeira. Este é um tempo de espera razoável para se desdobrar uma tora a partir do momento de seu corte na floresta, e a parte do topo afetada normalmente é eliminada na prática de destopo de peças serradas, (Fig. 5A). Entretanto se a mesma penetração ocorrer pelo lenho dos galhos, em igual profundidade a partir da superfície da tora, a partir de cada face da tora e em diferentes posições ao longo da tora - relativas ao seu perímetro e comprimento -, os danos serão muito superiores. Nesta última situação, teríamos as manchas contornando os nós da madeira distribuídas em toda a extensão das peças, e em várias delas, obtidas lado-a-lado na direção casca-medula da árvore, como as apresentadas na fig. 5B.

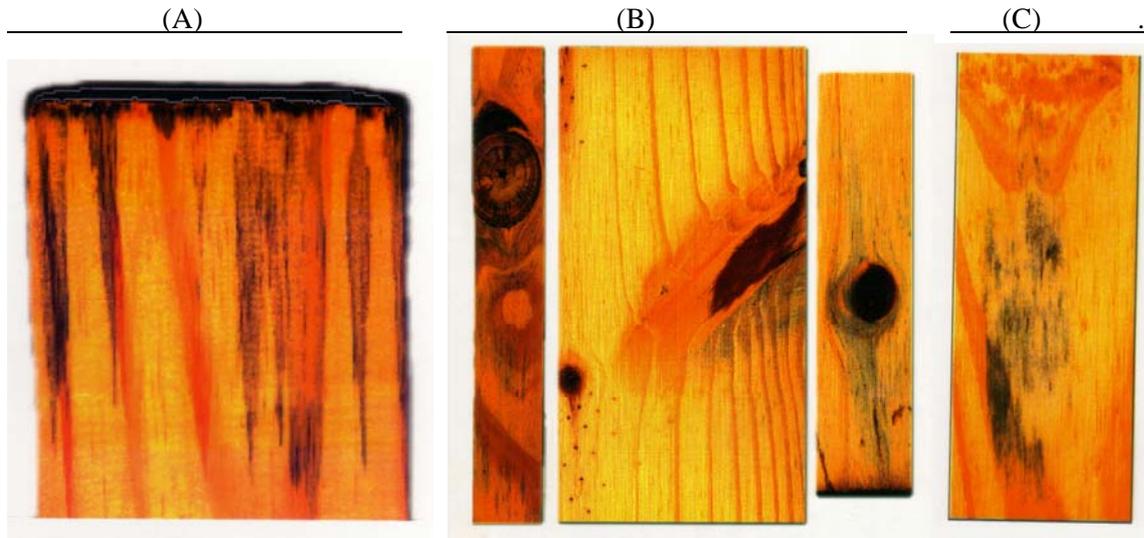


Fig.5: Características de madeira atacada por “fungos manchadores” – Da esquerda para a direita: (A) penetração pelo topo; (B) penetração pelos nós e; (C) penetração radial, por contato com separadores contaminados durante a secagem ao ar.

Na situação geográfica da Cidade de Curitiba, PR., observa-se que as hifas de fungos manchadores que penetram na madeira iniciam sua pigmentação entre 11 e 14 dias e, portanto, mesmo que ela já esteja atacada, mas ainda com o fungo não pigmentado, o seu valor comercial poderá ser mantido com o uso de produtos que se difundam suficientemente para o interior da madeira e alcancem o fungo a tempo para evitar a pigmentação.

Toras que por alguma razão sofreram remoção parcial da casca durante o seu corte são atacadas a uma profundidade bem menor no mesmo período de tempo, pois a penetração do fungo ocorre na direção radial da madeira. Além disto boa parte da madeira atacada (externa) será transformada em costaneiras durante a prática de desdobro e não causará muita perda no valor comercial do produto final de uma serraria. Assim sendo, dentro de um cronograma normal da indústria comum brasileira, os danos causados desta forma normalmente são menos expressivos.

Pelo exposto acima, é óbvio que dentro de certa condição climática a profundidade de penetração do fungo manchador na madeira até o momento do desdobro da tora, está relacionada ao seu tempo de exposição a este tipo de agente biológico. Portanto, maior agilidade na transformação de toras em madeira serrada, ou na transformação de toras em lâminas ou cavacos para outras finalidades industriais, seria uma das formas mais ideais de evitar prejuízos na empresa madeireira.

Tratamento preservativo subsequente à transformação primária deve ser uma prática adicional necessária para madeiras que se manterão a teores de umidade superiores a 20%, por tempo suficiente para que os fungos as danifiquem.

Contudo, como as indústrias deste ramo não dependem apenas de sua boa vontade de agilizar a industrialização da madeira, mas também dos fatores climáticos, condições das estradas florestais, entre outros, o tempo entre o corte de toras e da respectiva transformação primária é usualmente estendido, pois exige que as mesmas tenham um estoque de toras em seus pátios, suficiente para garantir os seus funcionamentos em períodos de chuvas e de difícil reabastecimento de toras. Assim sendo, outras medidas de proteção da madeira para prevenir sua perda de valor comercial são necessárias.

Controle

Algumas medidas de campo, interessantes e passíveis de serem adotadas para reduzir a velocidade de penetração de fungos manchadores na madeira, e com isto estender o tempo crítico supracitado, podem ser citadas como:

- Tentar manter a umidade original da tora até o momento do seu desdobro: A casca é sua proteção natural e sua falta ou descolamento expõe a superfície da madeira aos fungos manchadores. Além da umidade da tora manter a casca aderida, enquanto a seiva do alburno (umidade) estiver ocupando o espaço físico do interior das suas células, não haverá oxigênio livre disponível para permitir que fungos penetrem em profundidade na madeira.

Na área de exploração florestal, até o transporte das toras para o pátio da indústria, deve-se evitar ao máximo a desidratação deste material para que não ocorra o descolamento natural da casca. Caso isto aconteça o tecido cambial, localizado entre a casca e a madeira e rico em nutrientes, será exposto e conseqüentemente promoverá o desenvolvimento destes agentes biológicos.

Uma vez exposto o tecido cambial, os fungos se desenvolverão com rapidez sobre toda a superfície da madeira e, simultaneamente, penetrarão na madeira pelo tecido radial em toda profundidade da madeira de alburno.

Como medidas de proteção para manter a casca da tora aderida, mas não tão eficiente quanto ao pronto transporte das toras para a indústria, estão o empilhamento das toras

em local pouco ventilado ou a utilização de alguma forma de proteção de ventilação, e conseqüentemente da desidratação, até o momento do seu carregamento e transporte;

- Corte das toras em comprimento adequado, computando a velocidade de avanço do fungo na madeira em função dos seus sentidos anatômicos (vide quando 1) e a dimensão das peças serradas após a prática de destopamento.

As toras poderão ser cortadas em comprimentos compatíveis com dimensão final de interesse, considerando também o tempo entre a exploração florestal e a prática de desdobro da tora, bem como a direção e velocidade de avanço do fungo e o comprimento do produto comercial livre de manchas – esta medida poderia minimizar as perdas em valor comercial decorrentes do ataque de fungos manchadores pelos topos das toras (Fig. 5A). Neste caso a tora deverá ter o comprimento comercial desejado mais as partes das peças desdobradas a serem destopadas, com comprimentos que garantam a eliminação de toda madeira atacada;

- Opcionalmente ao item anterior, poderão ser feitos tratamentos preventivos ao ataque de fungos manchadores, com produtos eficientes para os propósitos a que são destinados.

Enquanto os produtos normalmente considerados “mais eficientes” são aqueles que se difundem pouco e são retidos em maior quantidade nas camadas superficiais da madeira, mas com o início do desenvolvimento de fendas na tora irá expor a madeira do seu interior ao ataque de fungos, os que se difundem a maiores profundidades a protegem melhor nesta situação. Contudo, alguns deles, por se difundirem em demasia, normalmente ficam com menor retenção na superfície e a deixa suscetível a outros tipos fungos, os tolerantes a produtos preservativos, a exemplo dos fungos emboloradores.

Em relação às diferentes características dos produtos disponíveis no mercado, cabe ao responsável técnico da indústria definir qual seria o melhor: o que fica a maiores retenções nas camadas superficiais da madeira, em vista que ela não permanecerá tempo suficiente na espera do desdobro e não ocorrerá desenvolvimento de rachaduras até aquele momento, ou o que penetrará mais e garantirá melhor proteção a fungos manchadores, mesmo com a existência de rachaduras na tora e com desenvolvimento de fungos de bolor na sua superfície.

- Tratamento das partes das toras com madeira exposta, como na base de galhos, superfície sem casca e topos basal e axial. Este parece ser o único tipo de medida de prevenção contra fungos manchadores praticados na área de exploração florestal por algumas indústrias, mas sem muito eficiência, exceto no que concerne à contaminação ambiental e de seus funcionários.

Em conjunto às medidas de proteção já citadas, e em preferência ao tratamento dos topos das toras, é recomendável a proteção da madeira com produtos químicos principalmente nas entradas criadas pelos cortes dos galhos e onde houver descascamento da tora. Esta medida reduzirá substancialmente a perda de valor comercial da madeira serrada em relação apenas à proteção dos topos, especialmente se for prevista a eliminação da madeira atacada pelos topos pela prática de destopamento.

Caso não se justifique o corte de toras que permita a eliminação da madeira atacada por destopamento, os topos das toras também deverão ser tratados, mas implica em custo adicional e aumentam os riscos de contaminação pessoal e ambiental.

Feito o transporte das toras para a indústria, as medidas de proteção deverão ser continuadas para garantir a qualidade do produto final, ou seja, para manter as toras saudáveis, preferencialmente sem ataque dos fungos manchadores ou com algum ataque que não traga prejuízos à empresa. Para atender esta necessidade, algumas das possibilidades são apresentadas a seguir:

- Manutenção das toras no pátio de toras até o momento do desdobro sob pulverização ou borrifação de água intermitente, para criar um filme de água sobre estas e, com isto, criar uma lâmina de água nas suas superfícies para isolar o oxigênio livre da atmosfera – onde não houver incidência de oxigênio não haverá possibilidade de desenvolvimento de fungos. Adicionalmente as toras se mantêm úmidas para evitar o descolamento da casca;
- Manutenção das toras submersas em água limpa – este caso refere-se exclusivamente para espécies de madeira com massa específica no estado úmido superior a $1\text{g}/\text{cm}^3$, ou seja, com densidade superior à da água, exigindo tanques de concreto ou similar e água limpa, para não impregnar/ contaminar a madeira com lodo ou outras impurezas;
- Para toras de madeiras com massa específica no estado úmido inferior a $1\text{g}/\text{cm}^3$, que são armazenadas em tanques d água, por flutuarem e estarem sujeitas ao ataque na sua parte

superior, a pulverização e/ou borrifamento de água na forma intermitente também se torna indispensável;

Após a prática de desdobro das toras, todas as medidas de proteção adotadas até então não terão mais efeito, tendo em vista que a madeira do interior da tora ainda se encontra sujeita ao ataque de fungos manchadores. Portanto, quando é exposta ela carece de proteção adequada durante a fase de secagem da madeira, até que o seu teor de umidade seja reduzido a níveis inferiores a 20%, quando ela naturalmente se torna imune ao ataque por fungos.

Para um tratamento adequado da madeira a ser protegida durante a sua fase de secagem, o produto preservativo deverá ser escolhido segundo algum critério que resulte na sua proteção sem, no entanto, por em risco a vida e/ou a saúde do pessoal envolvido no tratamento em si, do usuário da madeira e do meio ambiente, bem com que seja econômico o suficiente para garantir a margem de lucro pretendida pela empresa. Para tanto, o responsável por esta definição terá que ter uma boa noção sobre tais particularidades do produto, conciliando-a àquilo que se pretende em termos de penetração do produto na madeira, em função das diferentes direções anatômicas da madeira e do tempo que os fungos tiveram para avançar para o seu interior, até que ela tenha seu teor de umidade reduzido e fique imune ao ataque.

Prevenção do ataque de fungos em cavacos de madeira:

Cavacos de madeira são obtidos por outra forma de processamento primário e são destinados para a industrialização de papéis ou de painéis de partículas. Em qualquer dos casos este material poderá ser protegido de fungos, inclusive dos manchadores, com várias vantagens.

Entre as vantagens obtidas na proteção de cavacos estão a redução de material manchado e a manutenção da permeabilidade original da madeira para facilitar a penetração de licor de cozimento na indústria papeleira, ou de adesivos na indústria de painéis, e a redução significativa na perda de madeira consumida por fungos de podridão, quando esta é relacionada à perda que existiria no mesmo volume de madeira na forma de toras, pois a somatória das superfícies das toras suscetíveis ao ataque, necessárias para formar uma pilha de cavacos, é menor que a camada suscetível da pilha formada.

As seguintes são as opções de proteção da madeira na forma de cavacos:

- Rápida **redução do teor de umidade**, até o percentual adequado para o passo seguinte da industrialização e subsequente inclusão na linha de produção, ou abaixo de 20% U e armazenamento em cilos, até sua secagem final para imediata utilização;
- **Tratamentos preservativos** – Tratamentos preservativos não deixam de ser outras opções na proteção a serem dadas para cavacos de madeira antes que tenham seu teor de umidade otimizado para a confecção de painéis, mas normalmente são considerados desinteressantes no ponto de vista ambiental e/ou econômico: Enquanto o tratamento de cavacos úmidos deve ser efetuado por difusão de produtos hidrossolúveis e traz grandes riscos de contaminação ambiental, o efetuado por encharcamento de cavacos secos exige secagem prévia e secagem adicional. Quando são usadas soluções orgânicas para evitar secagem adicional, o tratamento se torna muito custoso;
- **Compactação de pilhas de cavacos no pátio da indústria** – este procedimento faz com que haja a eliminação do oxigênio do interior da pilha de cavacos, ficando esta suscetível a fungos manchadores e apodrecedores somente na sua camada externa, com cerca de 30 cm de espessura. No interior da pilha, em decorrência da falta de oxigênio ocorrerá o desenvolvimento de bactérias anaeróbicas e, conseqüente, o escurecimento da madeira e a elevação da temperatura do material compactado até cerca de 80°C, mas não ocorre nenhum efeito relevante no aspecto industrial quanto à redução na facilidade de polpação, no rendimento ou grau de alvura do papel.

Adicionalmente à prevenção do ataque por fungos manchadores e a conseqüente manutenção da permeabilidade da madeira, as bactérias que se desenvolvem nesta situação criam perfurações radiais e aumentam a permeabilidade da madeira. Portanto os cavacos se tornam mais fáceis de serem impregnados pela solução de cozimento na área papaleira, bem como por adesivos de madeira na indústria de painéis, resultando em maior ancoramento entre lâminas ou partículas que compõe o produto final.

Pulverização intermitente de água sobre pilhas de cavacos compactados poderá ser outra opção válida, no sentido de proteger a camada superficial de pilhas de cavacos compactados do ataque por fungos apodrecedores e manchadores - tal medida é relatada como usual e economicamente justificada, por um período de até seis meses em países de clima temperado.

2.2.4.5. Bolor

Principais fungos causadores do bolor: Ascomicetos e Schizomicetos.

Características da madeira atacada: A madeira atacada por fungos emboloradores apresenta-se com o fungo aparentemente limitado às suas superfícies, mas suas hifas penetram no alburno em profundidade. O aparente ataque restrito às superfícies da madeira se dá pela presença do fungo esporulado nesta região, enquanto as hifas se encontram no interior da madeira e se mantêm sem pigmentação, diferenciando-as das dos fungos manchadores.

Os fungos emboloradores se desenvolvem na madeira em função dos materiais de reserva presentes nas cavidades celulares, principalmente em madeiras de árvores recém cortadas, pois estas têm alto teor de umidade disponível. No entanto, eles podem ocorrer em madeiras previamente secas, quando estas ficam expostas a altas umidades relativas por tempo prolongado.

Normalmente o ataque causado por fungos emboloradores não danifica a parede celular em nível significativo - ele acontece predominantemente nas células do tecido radial e em tecidos vizinhos a este, pela existência de materiais nutritivos em abundância nesta região. Simultaneamente, enquanto a madeira tem umidade suficiente que possibilite a ação deste tipo de agente deteriorador, ocorre a deterioração das paredes celulares finas das células parenquimáticas e inicia-se a deterioração das paredes de células vizinhas mais espessas. Conseqüentemente, com similaridade ao dano produzido por bactérias, eles causam o que se denomina “perfuração radial” da madeira, tornando-a mais higroscópica que em seu estado original.



Fig. 6: Aparência de madeira atacada por bolor. (Fungo: Trichoderma spp.)

De forma geral, o que mais se destaca para os fungos emboloradores é o fato deles possuírem uma alta tolerância à maioria dos princípios ativos incluídos em formulações de preservantes para madeiras, tornando difícil o seu controle. Por tal razão, não é de causar surpresa que eventualmente se observe a sua ocorrência em madeiras previamente tratadas, com a ausência de fungos manchadores e apodrecedores, normalmente mais sensíveis a produtos preservativos.

2.3. MANCHA QUÍMICA OU ENZIMÁTICA

A mancha química ou enzimática nada tem a ver com agentes biológicos que se instalam e atacam a madeira. Ela se desenvolve pela reação química dos produtos existentes naturalmente na madeira (extrativos) e o oxigênio da atmosfera.

Como este tipo de problema é desenvolvido por meio de reação química, a adição de energia sob a forma de calor à reação química (secagem artificial ou incidência de raios solares) acelera e pronuncia o efeito de descoloração da madeira.

A mancha química normalmente confere às madeiras de coníferas uma coloração variando de amarela para marrom, ao passo que madeiras de folhosas normalmente adquirem coloração acinzentada. Microscopicamente observam-se pequenos pelotes no interior das células da madeira.

O simples isolamento do oxigênio existente no ar, por meio de barreiras físicas criadas por vernizes ou outro material de acabamento sobre a superfície da madeira, é uma medida eficaz de prevenir este problema.

“Mancha marrom da madeira” é um problema similar, que se desenvolve durante o processo de secagem artificial em espécies que têm extrativos com baixo ponto de fusão, os quais são arrastados em direção da superfície da madeira no primeiro estágio de secagem (enquanto há água livre ou água de capilaridade na madeira), acumulando-se e oxidando-se imediatamente abaixo de sua superfície. Este problema é evidenciado com a usinagem da madeira após a secagem, conferindo um aspecto que a desvaloriza comercialmente em aparência. Para evitar este tipo de problema, se reduz a temperatura inicial da secagem até que toda a água livre da madeira seja removida, à temperatura abaixo do ponto de fusão dos extrativos.

2.4. INSETOS

Geralmente a classe Insecta é subdividida taxonomicamente em 26 ordens, das quais as seguintes contem as espécies que são consideradas as mais importantes entre as deterioradoras da madeira:

- a. Coleóptera (besouros)
- b. Himenóptera (abelhas, vespas e formigas).
- c. Isóptera (cupins).

Para técnicos da área de biodeterioração da madeira, freqüentemente é suficiente e mais prático usar o tipo de dano causado à madeira e/ou o estado fisiológico do hospedeiro como uma base para tal classificação, ao invés de se fazer classificação taxonômica do inseto xilófago. Isto se justifica, pela razão de que certos insetos são encontrados em árvores vivas, enquanto outros preferem madeira de árvores recém abatidas ou mesmo no estado seco. Além disto, os danos causados são normalmente diferentes de inseto para inseto ou, pelo menos, entre grupos de insetos, e as medidas de prevenção do ataque usualmente são similares.

Pelo exposto acima, existe uma grande chance de identificarmos com segurança o inseto que deteriorou ou está em atividade na madeira de uma espécie florestal em particular, pelos danos aparentes, pelo estado fisiológico ou condições em que o material se encontrava no momento do ataque, e pela constituição física e química do material atacado.

2.4.1. Ordem Coleóptera

2.4.1.1. Família Lyctidae

A família Lyctidae é pequena. No entanto, o gênero *Lyctus* contém a espécie deterioradora de madeira de maior importância econômica no País.

O *Lyctus brunneus* é responsável por sérios danos apresentados em madeiras secas, e é capaz de reinfesta-las tantas vezes quanto forem necessárias, até reduzi-las ao estado de pó. Como agravante, no Brasil, por termos um clima mais favorável para o desenvolvimento deste

agente biológico, seu ciclo de vida pode se completar (e obviamente se iniciar) em qualquer época do ano.

O ciclo de vida dos Lictideos é de aproximadamente 1 ano. Por esta razão, e pelo fato do ataque se iniciar com a oviposição do inseto a uma pequena profundidade na madeira, somente após um período correspondente ao ciclo de vida deste inseto, a partir do ataque à madeira, é que poderemos observar a sua presença pela presença dos orifícios de emergência abertos pelo inseto na superfície da madeira. Previamente à abertura dos orifícios de emergência, só poderíamos observar o ataque se uma peça de madeira fosse aberta ou quebrada enquanto as larvas do inseto ainda está escavando galerias.

Estando estes insetos em função do amido e de açúcares existentes naturalmente na madeira de algumas espécies florestais, eles normalmente são associados à madeira de alburno de árvores caducas. O cerne é imune ao ataque, por se tratar de um tipo de madeira com estes ingredientes já alterados quimicamente (normalmente com produtos tóxicos) e inadequados para a nutrição destes insetos.

Características da madeira atacada

Madeira de coníferas são imunes ao ataque. Portanto, uma das primeiras informações a serem observadas para se ter certeza que a madeira está atacada por *Lyctus brunneus*, é verificar que ela se trata de uma folhosa.

Em madeiras de folhosas observa-se o ataque restrito ao alburno, normalmente com inúmeras galerias com cerca de 1,5 a 2,0 mm de diâmetro, correspondendo ao diâmetro do inseto adulto. As galerias são escavadas predominantemente na direção da grã da madeira, preferencialmente na madeira de lenho inicial. Suas larvas são capazes de escavar a madeira com teores de umidade entre 30 e 8%.

Quando da emergência dos insetos à superfície da madeira atacada, em decorrência do fechamento de seu ciclo de vida, observam-se montes de pó muito fino junto às perfurações superficiais, empurrados para fora da madeira. Este mesmo resíduo é encontrado em abundância no interior das galerias escavadas na madeira, tendo uma textura aparente igual à de farinha de trigo.

Em madeira severamente atacada, como ilustrado na figura 7, abaixo, somente uma fina camada de material lenhoso é mantida intacta, no seu lado externo, ficando todo o interior reduzido ao estado de pó.



Figura 7. Aspecto do coleóptero *Lyctus brunus* adulto, no alto; representação do inseto ovopositando a certa profundidade na madeira, abaixo e à esquerda, e aspecto de uma peça de madeira severamente atacada.

Embora o *Lyctus brunus* esteja relacionado à madeira de alburno de árvores caducas, nem todas elas são atacadas, mesmo que contenham no interior de suas células amido ou açúcares para sua nutrição (fig. 8). Para que isto venha a acontecer, a espécie de madeira terá que ter, necessariamente, vasos com diâmetros suficientemente largos para que o seu aparelho ovipositor e respectivo extensômetro sejam introduzidos em direção ao interior da madeira.

Os danos às folhosas normalmente iniciam previamente à sua comercialização e podem continuar após a sua incorporação em estruturas de edificações, móveis, assoalhos e forros.

Como este inseto não utiliza material celulósico para sua nutrição, mas apenas o amido e/ou açúcares que ele encontra na madeira, o resíduo deixado na forma de pó fino diz respeito a

uma proporção pequena de dejetos, e grande em material celulósico, pelo fato dele simplesmente triturar as paredes celulares ao escavar suas galerias.



Figura 8. *Lyctus brumeus* , com aproximadamente 7mm de comprimento e 1,8mm de largura, e cavidade celular contendo amido (abaixo).

2.4.1.2. Família Bostrechidae

Os besouros da família Bostrechidae têm uma grande variação de tamanhos entre espécies, possuem forma mais ou menos cilíndrica, usualmente com cabeça coberta pelo pronoto, deflexionada para baixo e observada de cima com certa dificuldade.

Este grupo de besouros é de menor importância que os demais coleópteros em regiões de clima temperado, por ser representado por poucos indivíduos xilófagos. No entanto, em regiões quentes são numerosos e podem ser de alta importância em várias localizações geográficas.

As principais madeiras atacadas pelos bostrequeiros são as de árvores caducas, pois da mesma forma que para o *Lyctus brunneus* o amido normalmente é essencial para a alimentação de suas larvas. No entanto esta não é uma condição específica para o ataque por estes indivíduos, pois outras folhosas e algumas coníferas também são atacadas.

Forma de ataque

Ambos, adultos e larvas têm a capacidade de escavar a madeira. Os ovos não são ovipositados nos poros da madeira, nas fendas ou rachaduras, mas nas galerias escavadas pelos insetos adultos, com a forma aproximada da letra Y e normalmente livre de resíduos.



Figura 9. Coleóptero da família Bostrechidae, *Amphicerus bicaudatus*

Os bostrequídeos geralmente infestam a madeira durante a fase de secagem ao ar, e mesmo que consigam completar seu ciclo de vida em madeiras já secas, não conseguem reinfesta-las mais nesta condição.

2.4.1.3. Família Anobiidae

Os insetos adultos desta família possuem pernas contráteis e cabeça bastante flexionada para baixo, a qual é freqüentemente coberta pelo pronoto. Estas características, mais o fato deles ovipositarem na superfície da madeira e do ciclo de vida deste inseto ser de aproximadamente 5 anos, diferenciam os anóbídeos dos besouros das famílias Lyctidae e Bostrichidae. Algumas vezes o seu ciclo de vida é relatado estar entre 2 a 5 anos, em função das condições climáticas e da qualidade de alimento do substrato.

Os anóbídeos são amplamente distribuídos em todo o mundo e são capazes de atacar tanto madeiras recém cortadas como as secas há bastante tempo. Eles danificam principalmente madeiras de coníferas, embora as de folhosas também sejam suscetíveis ao ataque.

No Brasil o gênero *Tricorynus* tem sido encontrado com mais freqüência em madeiramento de telhados, móveis, outros objetos de madeira e em livros .

Características da madeira atacada

Peças atacadas contendo ambos os tipos de madeira, albúrnio e cerne, normalmente apresentam ataque acentuado na região do albúrnio, acompanhado de leve ataque na região do cerne, principalmente na zona adjacente ao albúrnio.

As galerias escavadas na madeira ficam parcialmente preenchidas por resíduos granulados (excrementos) produzidos por estes indivíduos. Quando da emergência do inseto adulto à superfície da madeira, eles empurram parte dos resíduos para fora da madeira pelos orifícios de saída perfurados na sua superfície.

Os orifícios de saída, perfurados pelos insetos adultos no final de seu ciclo de vida têm cerca de 3 mm de diâmetro. Além deles, comumente observa-se a existência de pequenas perfurações na superfície da madeira, provavelmente efetuadas pelos indivíduos na forma de larvas a partir do interior das galerias.

A figura 10 apresenta ilustrações referentes ao ciclo de vida do *Anobium punctatum*, e a figura 11 o indivíduo adulto e diferentes tipos de danos causados pelo seu ataque.

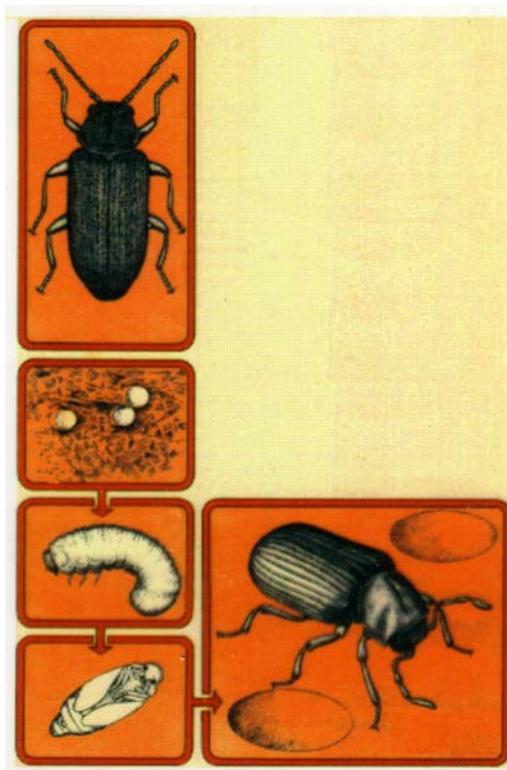


Figura 10. *Anobium punctatum* – de cima para baixo: indivíduo adulto; ovos ovipositados na superfície felpuda da madeira; larva; pupa e; indivíduo adulto emergente da madeira.
Fonte: Industrial Timber Preservation , por J. G. Wilkinson, 1979.

Esta é a espécie da família Anobiidae mais estudada em todo o mundo, por ser a maior causadora de danos em países de clima temperado, em especial nos europeus. Sua maior preferência é por madeiras antigas, possivelmente pela alteração de sua composição química que altera a natureza do alimento disponível para estes insetos.

As fêmeas ovipositam cerca de 80 ovos sobre a superfície felpuda, rachaduras, fendas e encaixes da madeira, e no prazo de quatro semanas as larvas nascem e escavam galerias para penetrar no material atacado. Elas se alimentam do material lenhoso e do seu conteúdo celular e deixam em suas galerias dejetos elipsóides (na forma de ovos), bem como os empurram para fora da madeira quando da perfuração da madeira para a sua emergência



Fig.11: *Anobium punctatum* e material atacado (seção transversal de madeira roliça, capa e contracapa de chapa compensada; e interior de madeira maciça, após remoção da camada superficial).

A figura 11 mostra a intensidade dos danos causados à madeira, em madeira roliça armazenada por um período de 5 anos; material remanescente do ataque (capa e contracapa) de compensado manufaturado com 9 plays; e interior de peça estrutural de *Araucária angustifolia*, com cerca de 30 anos de instalação.

2.4.1.4. Besouros Ambrósia

Existem muitas espécies de Besouros Ambrósia nas Famílias Scolytidae e Platypodidae. Algumas delas atacam árvores vivas, em especial nas debilitadas, mas a maior parte ataca madeira recentemente cortada, podendo ocorrer várias gerações destes insetos na mesma madeira durante um período anual.

Estes besouros adquirem este apelido por cultivarem fungos na madeira, normalmente os referidos como fungo Ambrósia ou fungo *Raphaella*, que servem como alimento para os indivíduos adultos e as larvas de sua prole. Por tal razão, praticamente nenhuma madeira é consumida como alimento por estes besouros.

Características da madeira atacada

Segundo a literatura, todos os Besouros Ambrósia só atacam madeiras com teores de umidade superiores a 48%; nunca em madeira seca.

Ao escavarem suas galerias, este tipo de besouro empurra cavacos para fora da madeira para mantê-las limpas de resíduos, e simultaneamente as inocula com o fungo que serve como fonte de alimento, com esporos que carregam nos pelos de suas asas. No lado externo da madeira atacada, observam-se montes de cavacos próximos às perfurações de entrada do inseto adulto.

Os resíduos produzidos por pelos Besouros Ambrosia são normalmente observados na forma de cavacos ou, por questão de proporcionalidade, com aspecto de pó quando os insetos são de pequenas dimensões.

No decorrer do ataque, pelo fato dos fungos inoculados se tratarem de fungos manchadores, as paredes das galerias se tornam manchadas, muitas vezes com a presença de manchas fusiformes longas no interior da madeira, causando a sua desvalorização comercial.

A figura 12 a seguir, apresenta algumas conseqüências causadas pela combinação Fungo de Podridão Branca e simultâneo ataque por Besouros Ambrosia, com a presença do fungo manchador cultivado para sua alimentação – estas fotos foram tomadas imediatamente após o tombamento de árvore por efeito de vento excessivo ocorrido em Curitiba, em dezembro de 2012.



Figura 12. Dano causado por *Platypus* spp.:Da esquerda para a direita: a) Base de árvore de *Platanus* sp. injuriada, apresentando descascamento como ponto de entrada a agentes xilófagos; b) seção transversal mostrando a presença de Podridão Branca e de Besouro Ambrosia e; c) galerias de Besouro Ambrosia com a presença de micélio de fungo manchador cultivado como alimento, e galerias com paredes manchadas.

Madeiras atacadas por Besouros Ambrósia apresentam galerias perpendiculares à grã, tanto na madeira de alburno como na de cerne, normalmente com centenas de perfurações e com manchas desenvolvidas a partir de suas paredes, decorrentes do desenvolvimento de fungos manchadores cultivados no seu interior.

Pelo fato dos indivíduos adultos e suas larvas não se alimentam da madeira, mas dos fungos levados/ inoculados pelos adultos e cultivados dentro das galerias, estes se propagam da parede da galeria para outras células do interior da madeira, causando também descoloração do tecido vizinho atacado. Em algumas espécies de madeira o tecido manchado é limitado a uma pequena distância da galeria, enquanto em outras a mancha ocorre em grandes proporções.

2.4.1.4.1. Família Platypodidae

Besouros Ambrosia do gênero *Platypus* atacam a maioria das espécies de coníferas e folhosas, tanto madeira de alburno quanto a de cerne. Árvores cortadas durante o verão e mantidas à espera da industrialização por mais de duas semanas, freqüentemente são severamente atacadas. Estes besouros atacam árvores vivas, como apresentado na figura 12, na página anterior, toras verdes e madeira recém serrada, e seus danos podem resultar em considerável degradação e redução de resistência, de aparência e valor comercial da madeira.

O principal besouro Ambrósia, que causa a infestação em *Pinus* spp. é o *Platypus flavicornis*. Esta espécie infesta árvores debilitadas, toras recém cortadas e madeira serrada antes de sua secagem.



Fig.13: *Platypus flavicornis*

Os besouros *Patypus flavicornis* adultos são alongados, de cor marrom-avermelhada escura, com cerca de 6,5 mm de comprimento e usualmente tem espinhos afiados em sua parte traseira (figura 13). Trata-se de um inseto comum que ataca árvores de pinus spp. recém infestadas por besouros de casca. Entretanto, tanto coníferas como folhosas e as madeiras de alburno e de cerne podem ser atacadas.

Características da madeira atacada

No caso de ataque por *Patypus flavicornis* se observa a existência de resíduos de madeira na base de troncos de árvores, indicando a infestação por este inseto. Os principais resultados do ataque normalmente relacionam-se à perda do valor estético da madeira, mas poderá, com a severidade do ataque, ter perdas de resistência e econômica significativas em decorrência da perda em volume de madeira, prejudicando as áreas da construção civil e da indústria papeleira.

Controle

A colheita e o pronto processamento das toras, incluindo o desdobro de toras e a rápida secagem da madeira serrada, é uma forma de reduzir as perdas causadas por estes insetos. Da mesma forma, a industrialização de papel no menor prazo de tempo de processá-las seria uma medida interessante e correta.

Em madeiras suscetíveis, mas ainda não atacadas, a manutenção de toras em estaleiros sob sistemas de pulverização intermitente de água é uma medida preventiva de ataque. Outra medida eficiente de prevenção do ataque por estes besouros, seria a colheita da madeira suscetível ao ataque e sua industrialização em períodos de inverno.

2.4.1.4.2. Família Scolytidae

Até o momento, constatou-se existir mais de 100 espécies deste inseto nos povoamentos florestais das Regiões Sul e Sudeste do Brasil. De relevante importância florestal, 62 delas foram identificadas e descritas no Manual dos Scolytidae nos Reflorestamentos Brasileiros”.

Segundo a literatura, os insetos adultos desta família têm uma forma caracteristicamente cilíndrica, com cor variando de castanha a preta, e tamanhos de 0,8 a 9,5 mm. Os escolitídeos conhecidos no Brasil variam de 1,0 a 4,3 mm de comprimento, e larguras variando de 1,6 a 3,8 vezes menos que o seu próprio comprimento.

Entre os besouros desta família que deterioram a madeira, podem-se citar dois tipos em particular: Os xilófagos e os ambrosiófagos.

Os besouros xilófagos ou “besouros de casca” são conhecidos desta forma por utilizarem a madeira como fonte de alimento. Por outro lado, denomina-se de “besouros ambrosia” àqueles que cultivam e alimentam-se de fungos, principalmente dos fungos *Ambrósia* e *Raphaella*.

Besouros Ambrósia da família Scholytidae

Os “Besouros Ambrósia” da família Scholytidae, como já descrito para os da família Platypodidae, se utilizam de pouca ou nenhuma madeira para sua alimentação, mas escavam galerias na madeira no estado úmido com a finalidade de cultivar fungos e de procriar no seu interior.

O fungo que serve para a alimentação dos Besouros Ambrosia é inoculado com esporos que estes insetos carregam nos pelos de suas asas, e após a germinação e o desenvolvimento do seu micélio, ele é utilizado como fonte de alimento para indivíduos adultos e suas larvas. Como consequência, os resultados do ataque são idênticos os causados pelos *Platypus*, como descritos a seguir.

Características da madeira atacada

As galerias são usualmente escavadas no sentido perpendicular à grã da madeira (raramente no sentido das fibras) e mantidas limpas de resíduos (fig. 14). Com o desenvolvimento do fungo inoculado em seu interior elas se tornam manchadas, etc., exatamente com as mesmas características apresentadas na figura 12, exceto pelo fato destes insetos serem de tamanhos menores que os dos *Platypus*, suas galerias terem menores diâmetros e os resíduos empurrados para fora da madeira terem aspecto de pó, em decorrência dos cavacos produzidos durante a escavação das galerias serem de tamanhos diminutos.

A Figura 14 , apresentada a seguir, dá boa idéia do efeito do ataque por insetos deste gênero.

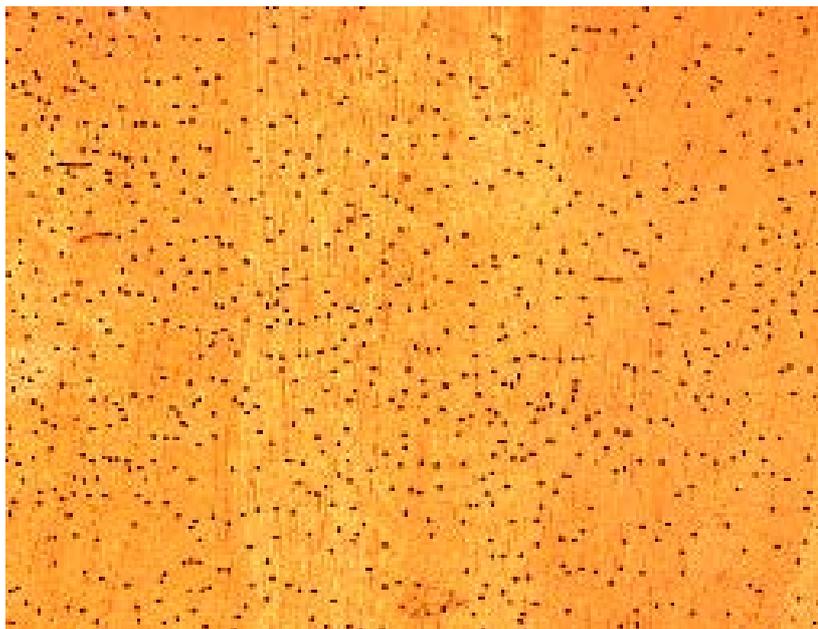


Fig. 14: Característica de material atacado e besouros ambrosiófagos da Família Scolytidae - madeira laminada com galerias escuras cavadas perpendicularmente à grã da madeira.

Besouros xilófagos da família Scolytidae

Os besouros xilófagos da família Scolytidae dizem respeito aos conhecidos como "besouros de casca", que se instalam na superfície de toras, sob a casca de árvores doentes ou debilitadas por efeito de agentes externos, como no caso das debilitadas por chuvas ácidas.

Os resultados do ataque destes besouros é a deterioração superficial das toras, como apresentado na figura 15 a seguir, com conseqüente exposição da madeira a agentes patogênicos e outros agentes xilófagos, em especial os fungos e outros insetos.



Figura 15. Superfícies de tora atacada, com larvas de besouros de casca escavando galerias e após ataque intensivo. Fonte: Dreamstime.com

2.4.2. Algumas Medidas de Controle para Coleópteros

De forma geral as primeiras medidas de controle de ataque por coleópteros à madeira que devem a ser levadas em conta são aquelas que se relacionam à prevenção ou minimização do ataque, e às características e aos hábitos dos insetos a que uma madeira em particular é suscetível. Assim sendo, os subsídios disponíveis na parte anterior desta apostila são de grande valia para esta finalidade e devem ser considerados.

No controle de madeiras já infestadas por coleópteros, embora algumas vezes as medidas tomadas sejam válidas para impedir o avanço do ataque e mantê-las em uso, na maior parte dos casos há necessidade de substituição e/ou descarte do material atacado, por conseqüência da demora na evidência do ataque, pois normalmente este só é observado quando ocorre o fechamento do ciclo de vida do inseto, com sua emergência na superfície da madeira. Somente no caso quando há penetração de insetos adultos na madeira eles podem ser observados no início do ataque, para a tomada de uma providência imediata.

Alguns exemplos:

- No manuseio de uma espécie de madeira conhecida como suscetível ao *Lyctus brunneus*, o alburno poderia ser eliminado se o volume subtraído desta fosse uma medida economicamente justificada – muitas vezes a madeira de alburno representa apenas uma pequena porção da seção transversal/ volume de uma tora e seu aproveitamento poderá se traduzir em um grande problema. Exemplo disto é o aproveitamento de lâminas de madeira de alburno na confecção de compensados, que além de serem suscetíveis ao ataque, na sua maioria são em pequeno volume e de pequena largura, pois são obtidas aos pedaços até ocorrer o arredondamento da tora durante o seu torneamento.

De fato, especificamente para o caso de *Lyctus brunneus*, tem sido observado que lâminas de madeira de alburno suscetíveis são responsáveis por grandes perdas de painéis compensados, com a emergência de insetos adultos do interior de compensados já manufacturados com colas fenólicas. As perfurações produzidas para o inseto sair, não por coincidência, se localizam sempre na região onde se encontra a lâmina de alburno atacada.

As observações acima mostram que este inseto, em uma ou mais fases de seu ciclo biológico sobrevive à temperatura/ tempo de prensagem quando ele se encontra em lâminas já atacadas, e surgem na superfície do painel quando o seu ciclo de vida se completa. Compensados confeccionados com cola que contenha formol em sua formulação não têm o mesmo problema,

pois este componente da cola se gaseifica por aquecimento durante a prensagem e extermina fungos e insetos;

- Utilização das lâminas de madeira suscetíveis à *Lyctus bruneus*, tratadas ou destinadas exclusivamente para miolo de compensados manufaturados com cola que contenha formol em sua composição;
- o acúmulo de aparas não deveriam ser permitido próximo ou nas áreas de armazenamento da madeira, mas deveria ser queimado para evitar focos de contaminação;
- onde o teor de umidade da madeira for identificado como crítico, para o desenvolvimento de um tipo de inseto em particular, o desdobro de toras e a secagem artificial devem ser feitos tão logo seja possível, seguida de imediata utilização da madeira. Dependendo do inseto, sugere-se também uma proteção superficial de produtos industrializados, com o uso de produtos para o selamento dos vasos da madeira;
- o tratamento preservativo da madeira para fins estruturais visa, principalmente, prevenir o ataque da madeira por agentes biológicos - nunca uma medida curativa: caso se trate de madeira estrutural, medidas curativas jamais restabelecerão a resistência original do material atacado; todavia tratamentos curativos muitas vezes são utilizados na tentativa de impedir o avanço da deterioração e de danos de maior significância à estrutura;
- nos casos onde a infestação da madeira já está estabelecida, o tipo de produto de madeira industrializado irá limitar os produtos químicos e procedimentos que poderão ser utilizados para erradicar os insetos, considerando-se a eficiência destes e, principalmente, os riscos envolvidos a seres humanos e animais domésticos no tratamento e uso do material tratado.

2.4.3. Ordem Hymenoptera

Esta é a terceira ordem Insecta em tamanho, com aproximadamente 103.000 espécies descritas. Os indivíduos desta ordem, considerados de importância econômica como agentes deterioradores de madeira, são pertencentes à família Formicidae.

As formigas consideradas importantes na biodeterioração da madeira pertencem ao gênero *Camponotus*, da subfamília Formicinae. Elas têm cerca de 12 mm de comprimento, são conhecidas vulgarmente como “**formigas carpinteiras**” e atacam uma grande variedade de espécies de madeira.

Apesar das formigas carpinteiras serem capazes de destruir tanto a madeira de lenho inicial como a de lenho tardio, normalmente elas preferem as mais moles e úmidas, e as que têm maior facilidade de serem escavadas em decorrência de prévio ataque por fungos apodrecedores.

A figura 16 apresentada a seguir ilustra o ataque à madeira por formigas carpinteiras, bem como o próprio agente deteriorador.



Fig. 16: madeira atacada por formigas *Camponotus pennsylvanicus* e aparência do agente deteriorador.

Características da madeira atacada

O dano causado pelas formigas carpinteiras é apresentado como galerias planas e de paredes lisas (sem resíduos de fibras), nunca existindo perfurações ligando as galerias com o exterior da peça atacada, exceto aquela que serve como ponto de entrada no material. Estas galerias são utilizadas pelas formigas apenas como abrigo e, pelo fato delas não utilizarem a madeira para a sua alimentação, até mesmo as tratadas com alguns tipos de produtos químicos poderão ser atacadas, a exemplo dos produtos sem ação inseticida por contato e o bem conhecido mundialmente pela abreviação CCA, por ter seus princípios ativos muito bem fixados na madeira tratada.

A ocorrência deste agente biológico normalmente se dá em madeiras úmidas ou semi-deterioradas por fungos, próximo a alguma fonte de alimentos, como carrocerias de trens ou de caminhões que transportam cereais ou grãos, residências, postes e moirões.

Em postes e moirões as formigas escavam a madeira abaixo da zona de afloramento (da interface solo-ar), mas sua presença pode ser detectada com facilidade pela existência de montes de pequenos cavacos de madeira deixados sobre o solo, próximo do ponto de entrada deste agente na madeira.

Controle

Medidas de controle como a limpeza do terreno ou dos ambientes onde as formigas carpinteiras poderão encontrar alimentos, poderão ser eficazes para evitar o seu aparecimento no sítio onde se instalará a madeira. Outra medida é a utilização de inseticidas com efeito por contato ou produtos que promovam a sua repelência, quando se instala madeiras sem tratamento ou tratadas com preservativos não eficazes contra este indivíduo, e principalmente próximo destas quando este agente já está presente na madeira.

2.4.4. Ordem Isóptera - Cupins

Entre os indivíduos da ordem Isóptera, os de importância como deterioradores de madeira e de artigos de madeira, encontram-se os cupins. Eles normalmente são classificados em sete famílias, e as consideradas deterioradoras na área de preservação da madeira em nosso País resumem-se às Rhinotermitidae e Kalotermitidae, sendo chamadas também de famílias de cupins "inferiores" por necessitarem protozoários simbiotes para possibilitar a digestão da celulose. Estes cupins são adaptados à diferentes condições de deterioração da madeira e são normalmente conhecidos como:

- "Cupins de solo ou subterrâneos", os da Família Rhinotermitidae e;
- "Cupins de madeira seca", os da Família Kalotermitidae.

A figura 17 apresenta imagens de cupins operários de ambos os tipos: os que deterioram a madeira no estado seco, ou seja, na umidade de equilíbrio de condições normais de uso deste material, e aqueles que necessitam de umidade adicional para conseguirem deteriorar a madeira, os cupins de solo ou subterrâneos.



Figura 17. Diferença morfológica entre os cupins de madeira seca e os cupins de solo.

Os cupins são agentes biológicos considerados de grande importância na deterioração da madeira. Eles são caracterizados por serem insetos sociais com um sistema de castas bem desenvolvido, por possuírem dois pares de asas membranosas de mesmo tamanho, mandíbulas com partes para mastigação, metamorfose simples e o abdômen unido diretamente ao tórax.

Em uma colônia de cupins de solo existem vários tipos de indivíduos, cada um com uma função específica. Entre eles o rei e a rainha, os operários e os soldados que são os mais numerosos, e os reprodutores formados de alguns operários e rainhas.

Todos os cupins possuem um casal reprodutor formado por um rei e uma rainha, apenas para a produção de ovos, de castas estéreis formadas por operários para a execução de todos os trabalhos, e de soldados, responsáveis pela defesa da colônia. Os membros da Família Kalotermitidae ou "cupins de madeira seca" não possuem operários verdadeiros, mas esse papel é desempenhado por ninfas que também detêm a capacidade de se transformarem em indivíduos alados ou soldados.

Além do casal real, também existem casais de substituição ou de reprodutores secundários formados a partir de ninfas, que podem substituir o rei e a rainha caso estes venham a morrer.

A dispersão destes indivíduos geralmente ocorre num determinado período do ano, coincidindo com o início da estação chuvosa. Nessa época, ocorrem as revoadas de alados, dos quais alguns poucos conseguem se acasalar e fundar uma nova colônia.

Longevidade de colônias de cupins

A menos que alguma doença ou predadores ataquem os cupins, os operários podem viver cerca de 3 a 5 anos e a rainha por um período muito maior. Para algumas espécies, as rainhas vivem até 50 anos e podem ovipositar milhares de ovos por dia.

Alimentação: Celulose.

Forma de ataque e características da madeira atacada: Os cupins se alimentam exclusivamente de celulose e normalmente atacam a madeira pelo caminho mais fácil, deteriorando em primeiro lugar o lenho mais mole da madeira. Depois, quando o lenho mais mole se torna escasso, eles deterioram também o mais duro. Esta característica no material atacado serve para diferenciar do ataque efetuado por formigas carpinteiras, as quais não têm preferência sobre o tipo de madeira.

2.4.4.1. Cupins de solo ou subterrâneos

Ocorrência

A zona ocorrência natural de cupins subterrâneos é verificada entre as latitudes 50° N e 50° S. No entanto, a proliferação para fora desta zona é feita por vetores, principalmente pelo homem, por este transportar madeira desta área para praticamente todos os lugares do mundo.

Proliferação

Para ocorrer proliferação de cupins subterrâneos, existe a necessidade de algumas condições ambientais específicas, além dos vetores que os levem para fora de seu meio natural, a saber:

- a) fonte de alimento celulósico;
- b) Adequada umidade ———> é utilizada para possibilitar a deterioração de produtos celulósicos;
- c) adequada temperatura ---> quente, mas podem sobreviver em climas frios, sob construções e;
- d) características do solo ———> preferem os arenosos.

Todo tipo de material que contenha celulose é suscetível a ataque por cupins, a exemplo da madeira, produtos de madeira como peças estruturais e móveis, bem como livros, tecidos de algodão e de linho, entre outros.

Os cupins de solo precisam de umidade para conseguir deteriorar a madeira ou outro material que contenha celulose e, mesmo que estes estejam com sua umidade de equilíbrio fora das condições que permitam a deterioração eles os atacam sem dificuldade, pois constroem dutos de terra e substância regurgitada até alcançar a sua fonte de alimento. Estes dutos têm a capacidade de transportar umidade pelas suas paredes, por capilaridade, até alcançar o material a ser atacado.

Cupins de solo se desenvolvem naturalmente em locais com temperaturas quentes, mas a ocorrência deles não se limita a situações geográficas de clima quente, tendo em vista que estas condições também são encontradas em países de clima com temperaturas extremamente baixas, sob construções com temperaturas mantidas em graduação adequada para a sobrevivência de humanos.

Condições favoráveis à infestação por cupins de solo

Os cupins de solo ou subterrâneos são mais freqüentes em solos úmidos e arenosos, em regiões quentes contendo alguma fonte de alimento abundante. Eles normalmente ocorrem em baixo de assoalhos com espaço para ventilação deficiente, o que condiciona que eles encontrem condições ideais de sobrevivência e resíduos de madeira deixados no solo na ocasião da construção. Outras situações que forneçam tais condições são de igual importância na deterioração da madeira.

Observações sobre a madeira atacada

A indicação da presença de cupins na madeira é dada pela observação da existência de pequenos pelotes (excrementos) que eles empurram para fora do material atacado. No interior da madeira, a presença de galerias sem obedecer o sentido das fibras é outra indicação deste agente biológico e, especificamente para o caso dos cupins subterrâneos, podem também ser observados dutos construídos por estes indivíduos, ligando o solo à madeira, utilizados para a condução e proteção destes indivíduos do solo à madeira, e também para o transporte de umidade do solo ao material sendo atacado.



Figura 18: Sinais de ataque de cupins de solo em edificações e na madeira: Imagens da esquerda e central, com dutos construídos para interligar o solo à madeira; imagem da direita, apresentando o dano típico causado por cupins de solo.

Medidas de proteção contra cupins subterrâneos

- a) Limpeza do sitio de construção, de todo e qualquer tipo de material celulósico;
- b) Drenagem do terreno;
- c) Envenenamento do solo na área onde será construído, sob edificações e calçadas e nas imediações da construção e;

d) Utilização de técnicas de construção adequadas (figura 18), como:

- Em subsolo, altura do solo à madeira sob a construção não inferior a 45 cm (A), para possibilitar adequada ventilação e secagem do solo após umedecimento pela água de chuvas;
- No lado externo da construção, altura do solo à madeira não inferior a 15 cm (A), livre de vegetação que impeça a ventilação e que mantenha a umidade do ar elevada;
- Capeamento de fundações de tijolos (B) com camada de concreto espessa (10 cm), de forma a impedir o livre acesso dos cupins por falhas nas camadas de argamassa e pelos buracos dos tijolos;
- Utilização de chapas metálicas (C) nas fundações sob a construção (escudos), preferencialmente de metal não oxidável, com ângulo na aba de 45°, para impossibilitar o acesso dos cupins pelo interior e pela superfície das fundações;
- Não permitir, em qualquer hipótese, que a madeira fique em contato direto com o solo.

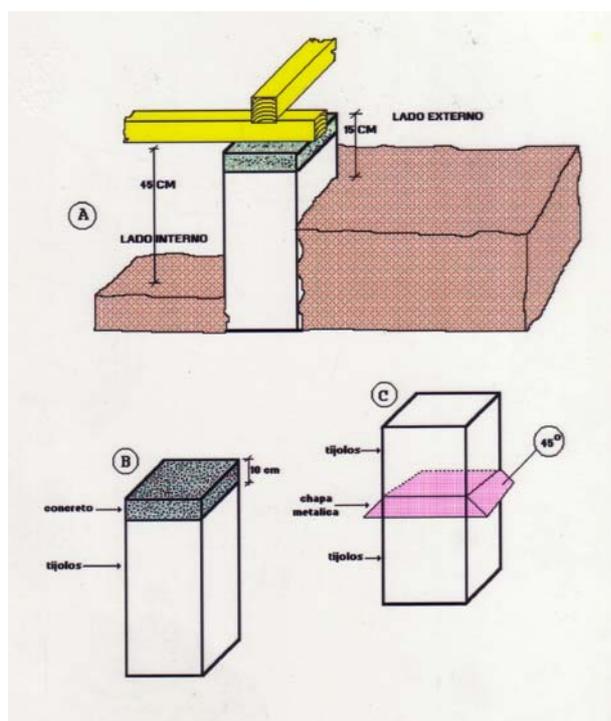


Fig.19: Técnicas de construção para prevenir o ataque de cupins subterrâneos.

Combate de cupins de solo ou subterrâneos

Pelo fato dos cupins subterrâneos manterem suas colônias permanentemente no solo, e só se locomoverem até a madeira para obterem alimentação, o combate destes indivíduos deve ser efetuado no solo. Para tanto, há necessidade de encontrarmos meios de acesso à colônia, com a finalidade de atingi-la com produtos tóxicos. Paralelamente, é aconselhável a substituição das peças de madeira atacadas por peças não atacadas e tratadas, peças de madeira com resistência natural, ou peças de algum material que não contenha celulose.

2.4.4.2. Cupins de madeira seca

Uma colônia de cupins de madeira seca tem cerca de 2.500 indivíduos e não existe a casta operária como para o caso dos cupins de solo; o trabalho na colônia é feito pelos cupins ainda imaturos, até chegarem à idade adulta.

Os cupins de madeira seca também não fazem suas colônias no solo, não necessitam umidade adicional à de equilíbrio para deteriorarem a madeira e, portanto, não produzem os dutos para interligar o solo à madeira. Eles também podem se transportar sozinhos a maiores distâncias e, por tais razões, são mais difíceis de serem controlados que os cupins subterrâneos.

Observações sobre a madeira atacada

A indicação de peças de madeira infestadas por cupins de madeira seca é feita pela observação de pequenos pelotes que eles empurram para fora da madeira (excrementos), e galerias escavadas em ambos os tipos de lenho, mas predominantemente no lenho inicial.



Figura 20: Sinais de ataque de cupins de madeira seca: Imagem da esquerda, galeria com presença de cupins; imagem da direita, apresentando o dano típico causado por cupins de madeira seca.

Controle

Pelo fato dos cupins de madeira seca se instalam e permanecem permanentemente no interior da madeira, torna-se extremamente difícil a sua localização no estágio inicial do ataque, bem como o seu extermínio ou controle.

Quando o ataque é ameno, a maneira de controlar este problema mais ideal é pela substituição de peças atacadas por peças não atacadas e tratadas ou com resistência natural. Quando o ataque é severo, usual recomendava-se a fumigação de toda a estrutura com brometo de metila ($\text{CH}_3 \text{Br}$), pela sua alta eficiência em termos de penetração na madeira. Contudo, com a limitação de uso deste produto ou sua proibição para esta finalidade, a fumigação com outros tipos de gases têm sido usado com algum sucesso, como o monóxido de carbono.

2.5. BROCAS MARINHAS

Animais que atacam a madeira no meio marinho, são conhecidos de forma coletiva como “brocas marinhas”. Eles são amplamente distribuídos em todo o mundo e são especialmente ofensivos em regiões onde a temperatura da água é mais elevada.

As madeiras atacadas por brocas marinhas podem ou não apresentar danos visíveis nas suas superfícies. O tipo de dano causado à madeira e os riscos envolvidos ao seu usuário estará, portanto, em função do agente marinho que se utiliza da madeira e da forma que ele a ataca, os quais são descritos a seguir:

2.5.1. Limnoria

O agente xilófago conhecido por Limnoria é um crustáceo de tamanho diminuto que escava a madeira imediatamente abaixo da sua superfície, produzindo danos facilmente visualizados. Em madeiras severamente atacadas é possível observar a presença de aproximadamente 50 a 65 indivíduos de todas as idades por centímetro quadrado.

Com a continuidade do ataque à superfície da madeira ela se torna friável e facilmente removida por meio de erosão, pela ação das ondas ou de outras ações mecânicas, forçando este agente deteriorador escavar progressivamente a maiores profundidades (figura 21).

Em estacas instaladas no mar, por exemplo, pela ação mecânica das ondas na zona correspondente ao seu nível médio, verifica-se um contínuo decréscimo em diâmetro nas peças em uso, resultando em um dano denominado como "dano em forma de ampulheta". Contudo, por ele ser superficial e visível, não oferece grandes riscos ao usuário da madeira instalada, mesmo com os prejuízos em material e em custos de substituição.



Figura 21: Exemplares de *Limnoria* spp., forma de ataque à madeira e dano tipo ampulheta observado e madeira roliça instalada em contato com a água do mar.

Entre as diversas espécies deste agente biológico, destaca-se a *Limnoria tripunctata*, pelo fato dela possuir alta tolerância a um produto preservativo muito usado para a proteção da madeira no meio marinho: o creosoto.

Nota: Apesar do creosoto ser altamente eficiente na proteção da madeira para a maioria dos agentes biológicos xilófagos, a *Limnoria tripunctata* simplesmente ignora sua presença na madeira, nos níveis normais de retenção utilizados para proteger este material contra o ataque dos outros agentes xilófagos marinhos. Por tal razão, e pelo fato de muitas vezes a utilização do creosoto ainda ser o preservativo mais interessante para a utilização da madeira neste nicho biológico, incorpora-se ao creosoto algum produto compatível que a *Limnoria* seja sensível, em especial aqueles que contenham o elemento cobre.

2.5.2. Teredos

Os teredos são moluscos que pertencem à classe Bivalvia, tendo assim uma concha calcária formada por duas valvas; dentre eles existem os da Família Teredinidae que atacam a madeira na forma de larvas através de pequenas entradas existentes em sua superfície, e penetram em profundidade à medida que crescem em tamanho. Desta forma, eles podem destruir o interior de uma peça de madeira, sem necessariamente apresentar danos aparentes na sua superfície. Por consequência, causam danos mais problemáticos que os causados pelas limnórias.

Devido à forma de ataque do teredo ser diferenciada ao da limnória, estacas ou material similar instalado no mar correm o risco de terem tombamento súbito, aumentando os riscos ao usuário da madeira; conseqüentemente, causam prejuízos em maiores proporções.

Entre os teredinídeos de importância na biodeterioração da madeira, encontram-se o teredo, a bankia, a martesia e a xilófaga. Dentre eles, os mais encontrados na literatura quando há referências a danos à madeira instalada em contato com a água do mar é o *Teredo navalis*, que a partir de sua instalação na superfície da madeira cresce em tamanho, avançando gradativamente para seu interior até alcançar cerca de 30 centímetros de comprimento.

As galerias produzidas pelos teredinídeos causam sérios danos à madeira, praticamente inutilizando-a para qualquer finalidade de uso em tempo relativamente curto. Suas paredes são revestidas por material calcário produzido pelo próprio agente deteriorador, tornando fácil o seu reconhecimento visual.

Estes indivíduos não se desenvolvem em madeiras apenas em contato com o meio marinho, mas também em água salobra, em manguezais e mesmo em água doce. No Brasil eles são bem conhecidos da população ribeirinha pelos nomes vulgares de Turu, Gusano ou Busano, pois além causarem danos às embarcações locais, são tidos como uma iguaria especial. A seguir são apresentadas imagens de uma peça de madeira atacada por teredo, da sua superfície externa e em cortes longitudinal e transversal (Fig. 22).



Figura 22. Madeira atacada por *Teredo navalis*: A) superfície da peça de pinus sp. atacada; B) interior da peça em corte longitudinal; C) vista do interior da peça na face transversal.

Considerando o que foi expresso anteriormente sobre o ataque causado pela *Limnoria tripunctata* e sua alta tolerância ao produto creosoto, e a necessidade de reforçar este preservativo com produtos compatíveis que contenham o elemento químico cobre, esta é uma das situações que justificam tal procedimento, pois o creosoto é reconhecido como o produto mais eficiente na proteção da madeira para os indivíduos da Família Teredinidae.

2.5.3. Medidas de controle contra brocas marinhas

2.5.3.1. Uso de madeiras com resistência natural

Parece existir alguma relação entre a resistência natural da madeira às brocas marinhas e o seu conteúdo de sílica. No entanto, esta não é uma regra geral, devido ao fato de algumas espécies possuírem altos teores de sílica e baixa resistência a estes agentes, e vice-versa.

Normalmente madeiras com alto teor de sílica são mais resistentes que madeiras com baixo teor deste material. Todavia, algumas espécies com baixos teores de sílica, por possuírem alcalóides ou por outras razões, também oferecem resistência natural a este tipo de agente biológico.

2.5.3.2. Uso de madeiras tratadas

O uso de madeiras tratadas é uma das alternativas existentes para controlar o ataque por brocas marinhas. Porém há necessidade que se considerem o meio em que a madeira tratada deverá ser

instalada, os agentes biológicos que nele ocorrem, bem como o tipo de preservativo mais adequado para a finalidade em questão.

O produto preservativo mais adequado para o tratamento de madeiras que ficarão expostas a brocas marinhas, geralmente é o creosoto, mas mesmo assim ele sozinho poderá não dar proteção suficiente ao material tratado ou ser incompatível com o uso da madeira tratada. No primeiro caso, além de alta quantidade de creosoto normalmente ser expulso da madeira pela ação mecânica da água (30—40%), da eliminação do produto por lixiviação e por bactérias que se utilizam do próprio creosoto como fonte de alimento, ainda existem agentes com alta tolerância a este preservativo, como o fungo *Lentinus lepideus* e o crustáceo *Limnoria tripunctata*.

Desta forma, na necessidade de instalarmos madeira tratada onde ocorrem agentes tolerantes ao creosoto, haverá também a necessidade de reforço deste produto preservativo com outros princípios ativos para utilizar a madeira de forma satisfatória.

.

2.5.3.3. Outras formas de controle

Além do uso de madeiras com resistência natural ou adequadamente tratadas para impedir o ataque por brocas marinhas, a proteção da madeira com chapas metálicas, capas de cimento ou de fibras de vidro, é uma das formas para impedir a biodeterioração por estes agentes.

Especialmente para o caso de embarcações, onde a *Limnoria* é o problema predominante, a alternância de viagens, com a remoção da embarcação de locais com climas quentes para os com climas frios, ou de locais de água salgada para a água doce, é uma forma usual de controle. Esta é uma medida de controle eficiente, em vista que a *Limnoria* se instala imediatamente abaixo da superfície do material e é facilmente eliminada pela adversidade das novas situações de uso da madeira.