

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL E QUANTIFICAÇÃO DOS DANOS
E PERDAS DA MURCHA DE CERATOCYSTIS EM EUCALIPTO
NA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL**

BIANCA VIQUE FERNANDES

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU - SP

Novembro – 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUIA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL E QUANTIFICAÇÃO DOS DANOS
E PERDAS DA MURCHA DE CERATOCYSTIS EM EUCALIPTO
NA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL**

BIANCA VIQUE FERNANDES
Engenheira Florestal

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Furtado

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU - SP

Novembro - 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Fernandes, Bianca Vique, 1980-

F363d Dinâmica espaço-temporal e quantificação dos danos e perdas da murcha de *Ceratocystis* em eucalipto na produção de carvão vegetal / Bianca Vique Fernandes. - Botucatu : [s.n.], 2012
iv, 77 f. : il. color., gráfs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012

Orientador: Edson Luiz Furtado

Inclui bibliografia

1. Carvão vegetal. 2. *Ceratocystis*. 3. Eucalipto.
4. Fungos. I. Furtado, Edson Luiz. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL E QUANTIFICAÇÃO DOS DANOS DA
MURCHA DE CERATOCYSTIS EM EUCALIPTO NA PRODUÇÃO DE
CARVÃO VEGETAL

ALUNA: BIANCA VIQUE FERNANDES

ORIENTADOR: PROF. DR. EDSON LUIZ FURTADO

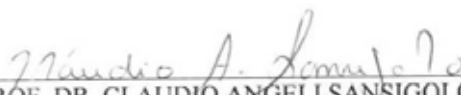
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. EDSON LUIZ FURTADO



PROF. DR. WALDIR CINTRA DE JESUS JUNIOR



PROF. DR. CLÁUDIO ANGELI SANSIGOLO

Data da Realização: 19 de novembro de 2012.

Dedico este trabalho à minha querida família, que em todo o caminho me apoiou, me incentivou e me enriqueceu com sua força de vontade para vencer os objetivos entrelaçados em nossas vidas por todos estes anos.

Paulo Abreu (Meu Marido);

Aylton e Nice (Meus Pais),

Léo, Fabiana e Maria Clara (Meu Irmão e Família),

Minha vovó Delfina e Família,

Minha vovó D. Maria e Família,

AGRADECIMENTOS

Á Deus, pela presença constante de luz em minha vida e pela graça recebida de poder conquistar tão almejada realização.

Em especial, ao meu gestor Hélder Bolognani Andrade, pelas sábias palavras, que tem sempre me guiado para o caminho da serenidade nas tomadas de decisões de minha vida profissional e pessoal.

Ao meu orientador Edson L. Furtado, pela paciência e dedicação no desenvolvimento dos trabalhos.

A professora Célia Zimback e a colega Alessandra Fagioli pelo apoio e ensino nas análises geoestatísticas.

Ao amigo Dr. Túlio Jardim Raad pelas orientações nas análises do processo de carbonização.

Aos pesquisadores Armando Sterling e Aníbal do Instituto de Pesquisa da Colômbia (CORPOICA) pelo aprendizado nas análises de distribuição espacial de espécies e na utilização do software DIVA-GIS.

À V&M FLORESTAL e ao Grupo VALLOUREC, pela seriedade com que o trabalho de Pesquisa e Desenvolvimento é tratado, onde esforços não são medidos pela obtenção contínua do conhecimento científico, em especial Moacir Nascimento e Marcelo Ferreira.

Aos colaboradores da V&M FLORESTAL pelo imenso apoio e carinho, com destaque para o Srs. José Luis, Amanda, Juliana, Carlos Henrique, Raquel Ferraz, Nivaldo, Márcio, Cleiton P, Cleiton S, Thomás, João, Pereira, Izabelle, Valter, Shirley, Luiz Cláudio, Hélder Vaz, que tanto me ajudaram nas avaliações de campo, laboratoriais e análises estatísticas dos experimentos.

Meu muito obrigada...

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO | 8 |
| SUMMARY | 9 |
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 12 |
| 2.1. O Eucalipto para Produção de Carvão Vegetal | 12 |
| 2.2. Murcha de Ceratocystis | 14 |
| 2.3. Dinâmica Espaço-Temporal | 16 |
| 2.3.1. Análise Temporal | 16 |
| 2.3.2. Análise Espacial | 18 |
| 2.4 Planejamento Evasivo | 22 |
| 2.5. Quantificação de Danos e Perdas | 24 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 25 |
| 3.1. Local | 25 |
| 3.2. Método de Avaliação..... | 26 |
| 3.3. Dinâmica Espaço-Temporal | 28 |
| 3.4. Planejamento Evasivo | 31 |
| 3.5. Quantificação dos Danos | 31 |
| 3.5.1. Processo Silvicultural | 33 |
| 3.5.2. Processo de Carbonização | 35 |
| 3.5.3. Processo Energético..... | 36 |
| 3.6 Análises Estatísticas | 37 |
| 3.7. Quantificação das Perdas..... | 37 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 39 |
| 4.1. Dinâmica Espaço-Temporal | 39 |
| 4.1.1 Análise Temporal | 39 |
| 4.1.2. Análise Espacial | 43 |
| 4.2. Planejamento Evasivo | 51 |
| 4.3. Quantificação de Danos..... | 54 |
| 4.3.1 Processo Silvicultural | 54 |
| 4.3.2 Processo de Carbonização | 60 |
| 4.3.3 Processo Energético..... | 63 |
| 4.4. Quantificação das Perdas..... | 65 |
| 5. CONCLUSÕES | 68 |
| 6. REFERÊNCIAS | 69 |

RESUMO

As plantações de eucalipto no Brasil vêm crescendo significativamente ao longo dos anos. Minas Gerais tem 29% da área plantada e esta madeira é destinada quase exclusivamente ao pólo siderúrgico na produção de ferro gusa a partir do carvão vegetal. Portanto, o crescimento da área plantada aliada as condições climáticas, propicia o aparecimento e multiplicação de pragas e doenças. Uma das doenças que vem se tornando de importância econômica é a murcha de *Ceratocystis*, causada pelo fungo *Ceratocystis fimbriata*, que é um patógeno típico de xilema secundário. Esta doença foi monitorada no período de 2005 a 2011, em 3 municípios de Minas Gerais, com os dados de incidência da doença no campo foi feito o estudo epidemiológico no espaço e no tempo. A evolução da doença no tempo foi melhor explicada pelo modelo monomolecular, com um coeficiente de regressão superior a 90%. A distribuição da doença ocorre de forma agregada e na linha, podendo-se inferir que as mudas foram levadas contaminadas para o campo, e isto pode ter ocorrido no processo de propagação clonal. Analisando os dados climáticos do banco de dados do WORLDCLIM e o software DIVA-GIS, gerou-se um mapa de favorabilidade da doença para o estado de Minas Gerais, concluindo que as áreas dos municípios estudados são de alta favorabilidade à doença, portanto, o uso de material genético resistente é imprescindível para garantir a produtividade das plantações florestais. Foi analisada a interferência da doença na quantidade e qualidade da madeira e do carvão vegetal, concluindo que este fungo ocasiona perdas significativas de em média R\$ 7.000/ha na cadeia produtiva do carvão vegetal.

Palavras-chave: fungo, *Eucalyptus*, *Ceratocystis fimbriata*, carvão vegetal

EPIDEMIOLOGIC STUDIES AND DAMAGE QUANTIFICATION FROM WILT CERATOCYSTIS IN EUCALYPTUS FOR CHARCOAL PRODUCTION. Botucatu, 2012. 74f. Dissertation (Master Degree in Forestry Engineer / Forestry Science) – Faculty of Agronomic Science – São Paulo Stat University (UNESP)

Author: BIANCA VIQUE FERNANDES

Adviser: EDSON LUIZ FURTADO

SUMMARY

Eucalyptus plantations in Brazil have been growing significantly over the years. Minas Gerais has 29% of the planted area, and this wood is destined almost exclusively to the steel pole in the production of pig iron from charcoal. Therefore, the growth of the planted area combined with the climatic conditions, allows the emergence and proliferation of pests and diseases. A disease that is becoming economically important is the Ceratocystis wilt, caused by the fungus *Ceratocystis fimbriata*, a pathogen that is typical of xylem. This disease was monitored in the period of 2005 to 2011 in three towns in Minas Gerais, having an epidemiological study in space and time been done with the data on incidence of the disease in the field. Disease progression in time is best explained by the monomolecular model with a regression coefficient greater than 90%. As the spread of the disease occurs in the aggregate and on the line (in an aggregated and linear way), it can be inferred that the seedlings were taken to the field already contaminated, and this may have occurred in the process of clonal propagation. Analysing climatic data from the database and software WORLDCLIM DIVA-GIS, a map of favorability was generated about the disease in the state of Minas Gerais, concluding that the areas of the cities studied are highly favorable to the disease, therefore, the use of resistant material is essential to ensure the productivity of forest plantations. We analyzed the influence of the disease in the quantity and quality of wood and charcoal production, concluding that this fungus causes significant losses in average US\$ 2.800,00 in this chain.

Keywords: fungi, *Eucalyptus*, *Ceratocystis fimbriata*, charcoal

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal responde por 3,7% do nosso produto interno bruto brasileiro (PIB) e gera 4,7 milhões de empregos diretos e indiretos. A exportação de produtos derivados de florestas plantadas, em 2010, somou US\$ 7,5 bilhões, dos quais 70% foram resultantes do cultivo do eucalipto, que no Brasil representa 4.754.334 hectares de florestas plantadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS, 2012). Dentre os setores que utilizam os produtos originários das florestas de eucalipto, destaca-se o setor de papel e celulose, representando 37% do consumo da madeira e 35% o setor siderúrgico, que utiliza o carvão vegetal para geração de energia e bio-redutor (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2011).

Para atender a demanda do setor siderúrgico, em 2010, foram produzidos 11,6 milhões de m³ de carvão vegetal a partir de florestas plantadas, tornando o Brasil o maior produtor mundial de carvão vegetal e o único país no mundo onde o carvão vegetal tem aplicação industrial em grande escala. O estado de Minas Gerais é o principal consumidor, sendo responsável por 80% da produção brasileira de gusa. O parque industrial mineiro é formado por 88 indústrias, com capacidade de produção instalada de 7,6 milhões de toneladas/ano, por isso que Minas Gerais é o estado que tem a maior área plantada de eucalipto no Brasil, representando 29% da área total (ABRAF, 2011).

Em 2010, Minas Gerais foi o estado com o maior crescimento da área plantada de eucalipto, 6,7%, enquanto que no Brasil foi de 5,3% e este crescimento tem

propiciado o aparecimento e multiplicação de pragas e doenças, que tem ocasionado redução de produtividade e conseqüentemente perdas econômicas.

Um dos patógenos, que vem se tornando de grande importância econômica, nos últimos anos, é o fungo *Ceratocystis fimbriata* Ellis e Halsted causador da doença conhecida como murcha de *Ceratocystis*, um típico patógeno de xilema (BAKER; HARRINGTON, 2004), cujo sintoma típico e característico é constatável nas secções transversais do tronco, onde se observa a presença de estrias radiais escuras (FERREIRA; MILANI, 2002), que seguem da medula para o exterior do lenho, ou da periferia do lenho para a medula, causando doença em muitas plantas lenhosas e em algumas herbáceas de grande importância econômica, tais como: acácia negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), cacau (*Theobroma cacao* L.), eucalipto (*Eucalyptus* spp.), figo (*Ficus carica* L.), mangueira (*Mangifera indica* L.) e seringueira (*Hevea brasiliensis* W.) (FURTADO et al., 2008).

Os danos ocasionados pela murcha de *Ceratocystis* são relatados pela porcentagem de plantas murchas ou mortas. Conforme Firmino (2011), na região cacaueira do estado da Bahia, a doença já se encontra amplamente disseminada e as mortes já somam o equivalente a 24% das plantas, principalmente aquelas da variedade Theobahia. Vique et al. (2007), citaram que em Minas Gerais, houve um aumento linear do número de árvores de eucalipto doentes pelo fungo *Ceratocystis fimbriata* com uma média de 20,6% de árvores mortas e 3% de árvores murchas, mas poucos são os trabalhos que relacionam os danos ocasionados da doença com a qualidade da madeira ou o produto final, como, celulose, carvão, lenha, poste entre outros.

Diante deste problema e da importância que o patógeno *Ceratocystis fimbriata* vem apresentando nos últimos anos para as plantações florestais de eucalipto o presente trabalho tem como objetivos:

- estudar a dinâmica espaço-temporal da doença no campo;
- elaborar o planejamento evasivo;
- avaliar os danos e perdas na cadeia produtiva do carvão vegetal.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O Eucalipto para Produção de Carvão Vegetal

Logo que chegaram à Austrália, os ingleses perceberam a utilidade das árvores de eucalipto, cujo centro de origem abrange também a Nova Zelândia e o Timor. A dispersão da espécie no mundo começou no início do século XIX. Na América do Sul, o primeiro país a introduzir o eucalipto foi o Chile em 1823 e, posteriormente, a Argentina e o Uruguai. Por volta de 1850, países como Portugal, Espanha e Índia começaram a plantar o eucalipto. Mora e Garcia (2000) afirmam que as primeiras mudas chegaram ao Brasil em 1868, sendo que a introdução do gênero tomou impulso no início do século XX. Os principais produtos originados da madeira são: papel, celulose, painéis e carvão.

O carvão vegetal é produzido por um processo conhecido como pirólise lenta da madeira, ou também denominado de carbonização, que é a operação de decomposição térmica da madeira, na ausência ou presença controlada de oxigênio (ar), deixando como resíduo sólido o carvão vegetal ou destilação seca da madeira (TRUGILHO, 2006). O uso do carvão vegetal é destinado quase que exclusivamente ao setor siderúrgico.

A siderurgia brasileira a carvão vegetal começou em 1587 em São Paulo para produção de ferramentas agrícolas, produzindo aço a partir de forjas catalãs. Nos séculos XVI e XVII foram instaladas várias forjas em Minas Gerais e São Paulo. O primeiro alto forno de Minas Gerais foi construído em 1884, em Itabirito. A partir daí surgiram dezenas de pequenas indústrias produtoras de ferro-gusa a carvão vegetal produzindo no final do

século XIX cerca de 4mil ton de aço/ano (PINHEIRO et al., 2008). No início do século XX, as espécies de eucalipto e corymbia plantadas foram: *Eucalyptus urophylla*, *E. cloeziana*, *E. pellita*, *E. pyrocarpa*, *E. tereticornis*, *E. paniculata*, *E. camaldulensis*, *E. brassiana*, *Corymbia citriodora*, *C. torelliana*, *C. maculata* devido as madeiras terem altas densidades básicas e produziam em média 9m³/ha/ano. Em Minas Gerais houve o plantio inadequado de algumas espécies para produção de carvão vegetal como o *E. grandis* e *E. saligna*, pois além de pouco adaptadas às condições climáticas do estado essas espécies conduzem a baixa densidade básica da madeira e a carvões com baixas densidade a granel. O objetivo das florestas plantadas era reduzir os custos de produção, produzindo o carvão mais próximo da unidade industrial e reduzindo a devastação das matas nativas.

Com a intensificação do programa de melhoramento nas empresas os materiais genéticos clonais passaram a apresentar excelente produtividade florestal, resistência a pragas e doenças, qualidade da madeira, adaptação a climas quentes e úmidos, com razoável densidade básica e alto teor de lignina, como exemplo cita-se o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* (*Urograndis*), portanto as buscas são intensas para alcançar excelência tecnológica que possam representar segurança fitossanitária, qualidade de florestas e de madeira, capacidade de boa carbonização, bem como produção de carvão com qualidade (FOELKEL, 2010).

Atualmente, um carvão vegetal para ser considerado de adequada qualidade siderúrgico deve possuir no mínimo as seguintes características: teor de carbono fixo superior a 75%; teor de umidade inferior a 5%; poder calorífico superior maior que 7.400 kcal/kg; densidade a granel superior a 0,25 t/m³; dimensões médias de partículas acima de 40 mm; teor de cinzas inferior a 2%. Além disso, deve ter boas resistências mecânicas, baixo nível de friabilidade e baixo teor de finos (moinha). De maneira geral, admite-se que se consomem entre 2.500 a 4.000 kg de madeira seca por tonelada de carvão vegetal, variação esta devido a diferenças no tipo de madeira (espécie, idade, densidade, presença de casca) e da tecnologia utilizada (FOELKEL, 2010).

2.2. Murcha de *Ceratocystis*

O fungo *Ceratocystis fimbriata* Ellis & Halsted foi classificado por Morgan-Jones (1967) como pertencente à divisão Ascomycota, classe dos Plectomycetes, ordem Microascales e família Ophiostomataceae. O fungo produz peritécios superficiais, parcial ou completamente imersos no substrato, globosos, com pescoços longos e fimbriados, e com coloração castanha a preto. Os ascósporos são elipsóides, hialinos, possuindo uma espécie de bainha gelatinosa, o que lhes dá uma aparência de chapéu. São produzidos em ascas evanescentes, cujas paredes dissolvem-se facilmente, e então liberados através do ostíolo em uma substância gelatinosa. Batista et al. (2008) identificaram a forma imperfeita ou assexual (*Chalara* sp. ou *Thielaviopsis* sp.) ou a forma perfeita ou sexual (*Ceratocystis fimbriata*) após crescimento por oito dias em meio BDA e isca de cenoura. Na forma assexuada, o fungo produz estruturas de resistências denominadas clamidósporos (auleriósporos) de parede espessa e melanizados e também grande quantidade de conídios (endoconídios) unicelulares, de formato retangular dentro de filíades. Na forma sexuada, o fungo é um ascomiceto que produz ascósporos dentro de peritécios (corpo de frutificação), de coloração marrom escura com base globosa e pescoço ereto, contendo hifas ostiolar na extremidade. O ascósporo tem formato bastante característico de chapéu.

Analisando as características culturais e morfológicas do fungo em meio de cultura observou-se que o fungo desenvolveu micélio esbranquiçado, que se tornou escuro com o passar do tempo. No início, formavam dois tipos de conídios, os endósporos e artrósporos e após, formação dos peritécios e clamidósporos. Os peritécios tinham um longo rostro, base globosa, superficial e parcialmente imersa, de coloração negra. Na extremidade do rostro, formava-se uma pequena gota alaranjada de ascósporos. A cultura do fungo exalava odor característico de fruta madura (VIEGAS, 1960).

O fungo *C. fimbriata* tem ampla distribuição geográfica e geralmente é conhecido em cada hospedeiro em apenas uma área geográfica relativamente restrita, por exemplo, a manga é relatada como hospedeira apenas no Brasil, apesar de mangueiras serem cultivadas em todo noroeste da América do Sul e Central, onde o fungo é comum em apenas cacau e café (BAKER et al., 2003). Além do eucalipto, o patógeno infecta várias espécies de plantas frutíferas e agrônômicas, a exemplo da mangueira, crotalária, cacauero, figo,

macadâmia, inhame, cenourinha e guapurú entre outras. Há grande variabilidade fisiológica na população do patógeno, de modo que determinada espécie vegetal pode ou não ser infectada por isolados do fungo oriundos de outros hospedeiros (BAKER; HARRINGTON, 2004).

Esta doença foi constatada pela primeira vez no Brasil por Ferreira (2000) em dezembro de 1997 nos reflorestamentos clonais de eucalipto no sudeste da Bahia, causando sérias preocupações, pois observou em áreas de determinados talhões monoclonais, mortalidade de plantas superior a 40%, sendo que nos primeiros meses de observação da doença os danos não excediam a 20-25%. No primeiro ano, a enfermidade limitava-se a plantações monoclonais de dois genótipos. Posteriormente, três outros genótipos apresentaram também a doença. Hoje, essa enfermidade afeta mais de 10 clones, em quatro estados brasileiros. Em campo, a murcha de *C. fimbriata* em eucalipto tem-se revelado uma doença clonal-específica, que tem afetado clones nobres das empresas florestais, tendo amplo germoplasma clonal, no entanto, dos pontos de vista silvicultural e tecnológico, são válidos os esforços para se entender melhor essa doença e obter o seu controle.

Os sintomas da doença foram relatados por Furtado et al. (2008) como: perda de coloração da folhagem, murcha de folhas que secam adquirindo coloração palha ficando presas aos ramos, e com um corte transversal no tronco da planta sintomática observa-se estrias de coloração cinza no lenho sendo esses os sintomas característicos da doença em eucalipto. A infecção do fungo pode ocorrer diretamente pelas raízes, aparentemente sem necessidade de qualquer ferimento ou também pode penetrar pela epiderme da planta através de vetor (geralmente microcoleópteros) ou ferimentos, uma vez no interior da planta, seu desenvolvimento inicial dá-se na região do câmbio, entre a casca e o lenho. O patógeno provoca a desintegração do sistema vascular da planta.

Com base em análises genéticas e de fertilidade, Ferreira (2009) constatou que as populações brasileiras de *C. fimbriata* pertencem a única espécie biológica. Dos 177 isolados em 20 populações do fungo, em plantios clonais de eucalipto nos estados da Bahia (BA), São Paulo (SP) e Minas Gerais (MG), foram encontrados 79 genótipos. As diversidades genéticas encontradas em MG e algumas na BA foram similares ao esperado das populações nativas do patógeno. Entretanto, algumas das populações dos patógenos apresentaram baixa ou ausência de diversidade genética. Alta diversidade genética foi encontrada nas áreas em que havia pequena floresta do tipo cerrado antes da cultura do

eucalipto, sugerindo que o *C. fimbriata* estava estabelecido no solo antes da cultura. Assim, strains de *C. fimbriata* isolados de eucalipto parecem ser nativos em algumas áreas de Minas Gerais e Bahia. Em contraste, um ou somente poucos genótipos foram encontrados em áreas em que havia pastagem anterior ao eucalipto. Adicionalmente, esses genótipos foram encontrados em viveiros ou em áreas de coleta de brotação. Em avaliação espaço-temporal, a doença apresentou padrão-agregado podendo-se inferir que os plantios podem ter sido infectados via solo.

2.3. Dinâmica Espaço-Temporal

2.3.1. Análise Temporal

As doenças são classificadas conforme Bergamin Filho e Amorim (1996), como sendo: epidêmica quando incidem em grande número de indivíduos dentro de uma população de plantas ou incidem sobre toda a população de plantas num determinado tempo; pandemias, quando as epidemias atingem grandes extensões de um continente; endêmicas, quando ocorrem em uma determinada região, afetando poucos indivíduos dentro de uma população de plantas; ou poliéticas quando as doenças necessitam de anos para mostrar um aumento na intensidade, neste caso, podemos citar como exemplo, a murcha do eucalipto causada por *C. fimbriata*.

A possibilidade de ocorrência de uma epidemia está intimamente relacionada com a evolução de determinada doença, a qual envolve diferentes fases do ciclo de vida do patógeno, podendo ser consideradas monocíclicas ou policíclicas. Monocíclicas caracterizam as doenças por apresentarem um único ciclo durante a mesma estação de cultivo, ou seja, o inóculo produzido em plantas doentes não irá causar doença nas plantas vizinhas durante o mesmo período de cultivo, ou, o inóculo produzido nessas plantas servirá para infectar plantas que novamente se estabelecerem nessa área, como exemplo cita-se as doenças vasculares, nestas doenças o número de plantas afetadas dependerá fundamentalmente da quantidade de inóculo inicial. Policíclicas são aquelas que o inóculo produzido sobre plantas doentes é capaz de numa mesma estação de cultivo, infectar novas plantas, e o inóculo que se formar nestas plantas provocar doenças em outras plantas e assim sucessivamente. Nestas doenças há formação do chamado inóculo secundário, encarregado da propagação da doença dentro da lavoura. Este tipo de inóculo será o

responsável pela ocorrência de vários ciclos secundários da doença, como exemplo cita-se as manchas foliares (VANDERPLANK, 1963).

Para o estudo de doença, Vale e Zambolim (2004) relataram que na fitopatologia, a epidemiologia destaca-se como ciência quantitativa, responsável por analisar os efeitos e a importância de variáveis quantitativas para descrever e entender a dinâmica de epidemias de doenças de plantas em 3 populações: a do patógeno, hospedeiro e a resultante da interação entre essas, ou seja, as lesões. Do ponto de vista analítico, são necessárias ferramentas para representar o comportamento dessas populações em diferentes situações do ambiente e para isto, os epidemiologistas empregam com frequência os modelos estatísticos para estudar e descrever esse fenômeno (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

A doença foi quantificada por Vanderplank (1963), por meio da taxa de progresso (r), inóculo (y_0), intensidade máxima e final da doença, entre outras variáveis, ou seja, o autor demonstrou como valores de variáveis calculadas estatisticamente poderiam contribuir na comparação de táticas de manejo. Para o estudo do progresso de doenças, tem-se usado principalmente modelos empíricos, dos quais descrevem a relação observada entre duas ou mais variáveis, esses modelos simplesmente correlacionam dados observados, eles não tem incorporada nenhuma informação previamente conhecida sobre as variáveis dependentes e independentes. Os principais modelos empíricos utilizados são: Exponencial, Logístico, Gompertz, que tem em comum a proporcionalidade entre a velocidade do progresso ou o aumento da doença e a intensidade de doença e no modelo Monomolecular, a velocidade de aumento diminui ao longo do tempo e aproxima de zero à medida que o tecido sadio se esgota (VALE; ZAMBOLIM, 2004). A escolha do modelo deve ser bem criteriosa, pois falhas no ajuste podem gerar informações e recomendações totalmente erradas no manejo, por isso algumas ferramentas estatísticas são utilizadas na escolha do modelo como: o coeficiente de determinação ajustado da análise de regressão (R^2), o valor do quadrado médio dos desvios (obtido da análise de variância) e o gráfico dos resíduos padronizados ($y_{obs} - y_{esp}$) em função da variável dependente (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

2.3.2. Análise Espacial

Os padrões espaciais de doenças originam-se das interações de fatores físicos, químicos e biológicos que influenciam os processos ecológicos (reprodução, dispersão, competição e sobrevivência) e fornecem informações sobre a dinâmica populacional do patógeno, podendo ocorrer numa linha de plantio ou numa parcela ao acaso, agregado ou regular. Essas informações auxiliam no desenvolvimento de metodologia para o monitoramento do patógeno auxiliando no processo de tomada de decisão para um manejo mais racional do patossistema (VALE; ZAMBOLIM, 2004).

A disseminação do patógeno e o progresso da doença ao longo do espaço são dependentes do arranjo das plantas, da intensidade da doença na fonte de inóculo e da sua forma de disseminação (CAMPBELL; MADDEN, 1990). Para o cálculo do progresso da doença no espaço citam-se: as análises estatísticas descritivas de quadrats, testes de run e doublet, índice VM (variância/média) e lei de Taylor (BERGAMIN FILHO et al. 2004, CAMPBELL; MADDEN, 1990). Entretanto, esses métodos não levam em consideração a dependência espacial entre a intensidade da doença em um indivíduo e a sua vizinhança, sendo então necessário utilizar metodologias estatísticas capazes de considerar a distância entre as amostras para quantificar e representar a dependência espacial com estimação ótima conforme é preconizado na teoria das variáveis regionalizadas, base dos fundamentos da geoestatística (SILVA et al., 2000).

A geoestatística tem sido aplicada para modelar o padrão espaço-temporal e gerar hipóteses sobre aspectos epidemiológicos de doenças de plantas (CHELLEMI et al., 1988). As técnicas geoestatísticas podem ser usadas para descrever e modelar padrões espaciais (variografia), para prever valores em locais não amostrados (krigagem), para obter a incerteza associada a um valor estimado em locais não amostrados (variância da krigagem) e para otimizar malhas de amostragem (ANDRIOTTI, 2009).

As duas funções utilizadas com maior intensidade na análise geoestatística para a determinação da dependência espacial de variáveis são as funções autocorrelação e a função variância, que gera o variograma. Este define os parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados, utilizando a interpolação por krigagem. O variograma resume a continuidade espacial para todos os pareamentos

(comparação entre dois valores) e para todas as distâncias (h) significativas. O variograma é, por definição,

$$\gamma(h) = 1/2E[Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2$$

e pode ser estimado através da equação:

$$\hat{\gamma}(h) = 1/2N(h) * \sum [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2$$

Onde:

$N(h)$ = número de pares de valores medidos $Z(x_i)$

$Z(x_i+h)$ = separados por um vetor h

Se o variograma for constante e igual ao patamar para qualquer valor da distância (h), e não apresentar valor alcance tem-se um gráfico mostrando “efeito pepita puro”, e, neste caso, tem-se ausência total de dependência espacial, ou se a dependência espacial existir ela será manifestada à distância menor do que o menor espaçamento entre amostras, conforme Figura 1 (CAMARGO, 2011).

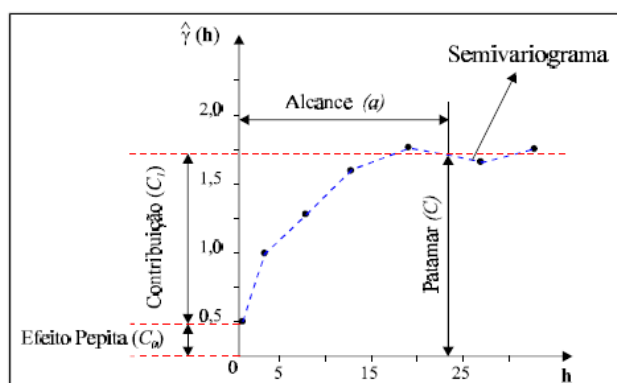


Figura 1. Variograma típico e seus componentes
Fonte: Camargo (2011)

em que:

Alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente.

Patamar (C): é o valor do semivariograma correspondente a seu *alcance (a)*. Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ($Var [Z(x) - Z(x+h)]$) torna-se aproximadamente constante.

Efeito Pepita (C0): idealmente, $\gamma(\mathbf{0})=0$. Entretanto, na prática, à medida que h tende para zero, $\gamma(h)$ se aproxima de um valor positivo chamado *Efeito Pepita (C0)*, que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras.

De acordo com Isaaks e Srivastava (1989) à medida que a distância (h) aumenta a variância $\gamma(h)$ também aumenta até um valor máximo no qual ele se estabiliza correspondente à distância “a”. Este valor no qual $\gamma(h)$ se estabiliza chama-se patamar ($C_0 + C$), e é aproximadamente a variância dos dados, $\text{Var}[Z(x_i)]$. A distância na qual $\gamma(h)$ atinge o patamar é chamada alcance, recebe o símbolo de a , e é a distância limite de dependência espacial. Medições localizadas a distâncias maiores que o alcance, tem distribuição espacial aleatória e por isto são independentes entre si. Para estas amostras, a estatística clássica pode ser aplicada sem restrições. Por outro lado, amostras separadas por distâncias menores que o alcance estão correlacionadas uma às outras, o que permite que se façam interpolações para espaçamentos menores do que os amostrados, assim toda amostra cuja distância ao ponto a ser estimado for menor ou igual ao alcance, fornece informações sobre o ponto. Dessa maneira, o alcance (a) é a linha divisória para a aplicação de geoestatística ou estatística clássica.

O efeito pepita, que é um parâmetro importante do variograma, reflete o erro analítico, indicando uma variabilidade não explicada (ao acaso) de um ponto para o outro, que pode ser devido tanto a erros de medidas ou microvariação não detectada em função da distância de amostragem utilizada (CAMBARDELLA et al., 1994), sendo impossível quantificar a contribuição individual dos erros de medição ou da variabilidade.

Para a confecção dos variogramas experimentais são computados valores de $\gamma(h)$ confrontando-se com os respectivos h . As somatórias necessárias para o cálculo de $\gamma(h)$, porém, devem ser construídas por um número suficiente de pares, que tornem o resultado consistente (LANDIM, 2003).

O uso da % da variância do efeito pepita para mensurar a dependência espacial foi sugerido por Trøngmar et al. (1985), mas Cambardella et al. (1994) propuseram avaliar a % da variância do efeito pepita denominado de IDE (Índice de Dependência Espacial) e conforme Zimback (2001) o IDE pode ser classificado como $\leq 25\%$ fraca dependência espacial; entre 25% e 75% moderada dependência espacial e de 75% a 100% forte dependência espacial. O ajuste de um modelo teórico ao variograma experimental é um

dos aspectos mais importantes das aplicações da teoria das variáveis regionalizadas. Todos os cálculos da geoestatística dependem do valor do modelo do variograma para cada distância especificada, portanto, se o modelo ajustado estiver errado, todos os cálculos seguintes também estarão. Para os modelos teóricos são encontrados basicamente, quatro funções teóricas que se ajustam aos modelos do variograma: a) linear; b) esférico; c) exponencial; d) gaussiano (SILVA et al., 2011).

A krigagem é uma técnica da Geoestatística que utiliza informações a partir do variograma para encontrar os pesos ótimos a serem associados às amostras com valores conhecidos que irão estimar pontos desconhecidos. É entendida como uma série de técnicas de análise de regressão que procura minimizar a variância estimada a partir de um modelo prévio, que leva em conta a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço (LANDIM; STURARO, 2002). Para utilizar esse método e obter acurácia e precisão satisfatória na estimativa é necessário existir dependência espacial definida pelo semivariograma (SALVIANO, 1996). As formas mais usuais são a krigagem simples e a krigagem ordinária. A krigagem simples é utilizada quando a média é assumida como estatisticamente constante para toda a área e a krigagem ordinária, por sua vez, considera a média flutuante ou móvel por toda a área. As variâncias de krigagem, sendo condicionadas apenas pelo arranjo geométrico dos pontos e, portanto, independentes dos valores das amostras, não são normalmente medidas de acurácia da estimativa local. Para satisfazer esta necessidade uma das soluções apontadas é a krigagem indicativa. O enfoque passa a ser, neste caso, não estimar um determinado valor, como na krigagem ordinária, mas sim definir áreas com maior ou menor probabilidade que um determinado evento ocorra. A krigagem indicativa, utilizada neste texto, consiste basicamente na aplicação da krigagem ordinária para a variável transformada, ou seja, a variável resultante da aplicação da função não linear $f(z) = 0$ ou 1 . O conceito da transformação indicativa é dos mais simples e amigável, visto que os variogramas indicativos são os mais fáceis de modelar. Para validar a subjetividade e variabilidade dos resultados nos cálculos dos parâmetros do variograma e o plano de krigagem antes do seu uso na construção de mapas alguns critérios para os métodos de interpolação são utilizados como: quadrado médio do erro (WARRICK et al., 1988), quadrado médio da soma dos erros (LASLETT et al., 1987) e coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados obtidos pela validação cruzada (cross-validation) proposto por Leenaers et al. (1990).

2.4 Planejamento Evasivo

A evasão pode ser enunciada como prevenção da doença pelo plantio em épocas ou áreas quando ou onde o inóculo é ineficiente, raro ou ausente. Baseia-se em táticas de fuga dirigidas contra o patógeno e/ou contra o ambiente favorável ao desenvolvimento da doença. As principais medidas evasivas são: escolha da área geográfica, local e época de plantio, profundidade de semeadura e precocidade das variedades. Tais medidas de controle levam em consideração a ausência ou presença do patógeno, a quantidade relativa do inóculo e as condições ambientes mais ou menos favoráveis, afetam assim, os parâmetros epidemiológicos x_0 (inóculo inicial), r (taxa de infecção) e/ou t (período de exposição das plantas à infecção). A escolha de áreas geográficas seja para estar livre de patógenos, ou das condições predisponentes à ocorrência de epidemias, é um princípio geral de controle que precisa ser mais explorável num país tão extenso quanto o Brasil, que apresenta enormes variações climáticas regionais (BERGAMIN et al., 1996).

O ambiente é um agregado de todas as condições externas afetando a vida e o desenvolvimento de um organismo. Em doenças de plantas o ambiente pode afetar o hospedeiro, o patógeno ou os vetores, assim como a interação entre eles. A maioria dos fungos e bactérias patogênicas necessita de altos níveis de molhamento para infectar o hospedeiro, sendo que alguns exigem a presença de água livre na superfície do hospedeiro (MEDERICK; SACKSTON, 1972; VALE; ZAMBOLIM, 1996). Segundo Ghini (2005), o ambiente influencia todos os estádios de desenvolvimento, tanto do patógeno quanto da planta hospedeira, assim como da doença, nas diversas etapas do ciclo das relações patógeno-hospedeiro. Além desses, também pode afetar outros organismos com os quais a planta e o patógeno interagem como endofíticos, saprófitas ou antagonistas. Assim, numa área onde tanto a planta hospedeira quanto o patógeno estão presentes, o aparecimento e o desenvolvimento da doença são determinados pelo ambiente.

Entre as diversas condições climáticas, a temperatura pode ter um efeito importante em cada componente do patossistema e constitui a variável do ambiente mais comumente correlacionada com a incidência e a severidade das doenças de plantas (VALE; ZAMBOLIM, 1996). Deste modo, a infecção, a colonização, a produção de inóculos, a dispersão e sobrevivência constituem os elementos necessários para o desenvolvimento das

epidemias em plantas (TENG; JOHNSON, 1988). Todos esses processos são afetados pelos fatores meteorológicos, principalmente temperatura e umidade. A incidência e severidade da doença variam em função da espécie e do genótipo do hospedeiro, região geográfica e época do ano, sendo particularmente exigentes quanto às condições de microclima e existência de órgãos juvenis (ALFENAS et al., 2004). Segundo Ghini (2005), qualquer que seja a mudança climática, os patógenos tendem a seguir a planta hospedeira e sua distribuição geográfica. A velocidade com a qual os patógenos vão se estabelecer no novo ambiente é função da possibilidade de dispersão e sobrevivência entre estações do ano ou de cultivo e das mudanças fisiológicas e ecológicas da planta hospedeira.

A utilização de mapas de zonas de risco climático tem sido estudado e amplamente utilizado para culturas agrícolas. Prado (2006) elaborou uma metodologia para a confecção destes mapas para a cultura do tomateiro, García (2005) também estudou o risco climático de ocorrência da requeima da batata na região dos Andes na Venezuela, Lopes et al. (2008) confeccionaram mapas de risco para a citricultura no Estado de São Paulo e (MASSON, 2009) para a ferrugem do Eucalipto. As interações genótipos-ambientes são os pontos críticos num estudo de riscos para a cultura, isso ocorre porque os genótipos não mantêm um mesmo padrão de comportamento devido à variabilidade espaço-temporal dos ambientes. Logo, é necessário delimitar as áreas em ambientes mais homogêneos possíveis, e ter culturas bem ajustadas a cada um desses ambientes e/ou obter cultivares que possuam um elevado grau de estabilidade, logo entende-se por isso Zoneamento de Risco (LOPES et al., 2008). Como exemplo cita-se o zoneamento a partir de escolha de áreas geográficas desfavoráveis ao desenvolvimento da doença Mal das folhas da Seringueira, causado pelo fungo *Microcyclus ulei*, que tem viabilizado a heveacultura no centro-sul do Brasil em maciços florestais artificiais compostos por plantas susceptíveis, sem necessidade de controle químico, uma vez que nessa região a doença não atinge níveis prejudiciais. (FURTADO, 2008).

A partir de séries históricas de dados climáticos, obtidos de redes de estações meteorológicas governamentais, estaduais ou privadas, podem-se elaborar mapas de zonas de risco de epidemias. No caso de doenças de plantas, os mapas de zonas de risco, acoplados aos modelos de simulação, podem ser úteis para indicar áreas geográficas ou até mesmo, épocas do ano mais favoráveis à ocorrência de epidemias (LOPES et al., 2008).

A modelagem de distribuição potencial (MDP) também se tornou um procedimento comum para determinar a amplitude da distribuição geográfica das espécies. Há duas razões principais do aumento do uso de MDP nos últimos anos. O primeiro é o aumento da disponibilidade de métodos estatísticos e técnicas computacionais que podem ser aplicados mesmo com apenas dados da presença da espécie e a segunda razão é a disponibilidade de dados ambientais em diferentes níveis de resolução e para uma vasta área de território, que permitem produzir previsões para, virtualmente, qualquer área terrestre do globo (MARCO JUNIOR; SIQUEIRA, 2009). Atualmente, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) têm contribuído significativamente para o desenvolvimento de um banco de dados, como exemplo cita-se o WORLDCLIM (Global Climate Data) <<http://www.worldclim.org/>> (HIJMANS et al. 2005) um portal que fornece dados climatológicos de todo o mundo, a partir de grades regulares de valores (grids) com resolução de 30 arcos de segundo (1km²) equivalente a 100ha. Estas grades foram geradas a partir de interpolações de dados climatológicos de estações de diversas instituições espalhadas por todo planeta e correspondem a uma série histórica de 1950-2000 (50 anos) para interpolação de dados climáticos com uma resolução alta, para facilitar a modelagem em qualquer lugar do mundo. Além disso, têm sido amplamente utilizados no mapeamento e na análise de dados de amostras para análise espacial e modelagem preditiva de distribuição de espécies os softwares OPEN-MODELLER e DIVA-GIS (HIJMANS et al., 2005).

2.5. Quantificação de Danos e Perdas

O dano é definido como qualquer redução na quantidade ou na qualidade da produção devido a injúrias causadas pelo patógeno (NUTTER et al., 1991). Posto isso, estimativas confiáveis dos prejuízos causados pelos patógenos são um pré-requisito para o desenvolvimento de qualquer programa bem sucedido de controle da doença (WALKER, 1983). Os danos silviculturais são avaliados pelos modelos tradicionais, fazendo variar a intensidade de doença em diferentes parcelas e correlacionando estes níveis de severidade com produção e podem ser mensurados pelo percentual de mortalidade de plantas, pela redução volumétrica ou pela qualidade da madeira.

Os danos ocasionados pela murcha de *Ceratocystis* foram relatados por Firmino (2011) na cacauicultura do Brasil, no Equador, onde foi descrita pela primeira vez

onde causou a morte de um grande número de árvores de cacau na década de cinquenta, incluindo genótipos do chamado 'complexo nacional do Equador', um cacau fino de alto valor para este país. Na Venezuela, foi registrado a mortalidade de 20% a 50% das árvores de cacau. Na Colômbia, causou grandes estragos, atacando 50% das plantações de cacau do município de Sofia e no Valle Del Cauca não existem plantações saudáveis, também foi registrada causando problemas no México, em Porto Rico, na Guiana, Peru, República Dominicana e Guatemala. Na avaliação da qualidade da madeira Araujo et al. (2007) concluíram que o uso da madeira com o fungo *Ceratocystis fimbriata* eleva o custo de produção na fábrica de celulose em 29,6%, devido às maiores demandas de soda, madeira e de reagentes no branqueamento da celulose durante o seu processo. O mesmo autor sugeriu que a madeira infectada com o fungo leva a perdas de produção, de qualidade e de aumento no custo de produção da fábrica, assim destiná-lo a outros fins, como queima na caldeira para auxiliar na geração de energia ou produção de carvão, seria uma alternativa para evitar maiores perdas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local

A área de estudo foi em plantios de eucalipto do clone de *Eucalyptus urophylla* - VM03 para produção de carvão vegetal da empresa V&M Florestal, localizada em Minas Gerais. Os dados de campo foram coletados em quatro fazendas: Itapoã no município de Paraopeba, Campo Alegre e Chapadinha no município de João Pinheiro e Vargem Grande no município de Bocaiúva (Figura 2).



Figura 2. Local das fazendas para os estudos da murcha de *Ceratocystis* em Minas Gerais.

Vale ressaltar que, essas quatro fazendas caracterizam as diferentes regiões edafoclimáticas da empresa, e os resultados podem ser extrapolados para as outras fazendas pertencentes ao mesmo município. A Tabela 1 apresenta as informações detalhadas de cada fazenda a ser estudada.

Tabela 1. Locais de monitoramento da murcha de *Ceratocystis* em Minas Gerais.

| Município | Paraopeba | João Pinheiro | | Bocaiúva |
|------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Fazenda | Itapoã | Campo Alegre | Chapadinha | Vargem Grande |
| Talhão | 147 | 1525 | 2214 | 4065 |
| Data do Plantio | Nov/03 | Jan/05 | Jul/04 | Jan/04 |
| Área (ha) | 19,47 | 38,75 | 23,64 | 24,71 |
| Espaçamento | 3x3 | 3x3 | 3x3 | 3x3 |
| Altitude (m) | 750 | 835 | 568 | 898 |
| Solo (textura) | Latossolo Vermelho Amarelo | Neossolo Quartezarênico | Neossolo Quartezarênico | Latossolo Vermelho Escuro |
| Precipitação(mm) | 1322 | 1490 | 1173 | 1009 |
| Coordenadas | Lat:19°18'06"S | Lat:17°57'13"S | Lat:17°26'21"S | Lat:17°20'33"S |
| Geográficas | Log: 44°30'13"W | Log: 46°06'47"W | Log: 46°05'20"W | Log: 43°44'39"W |

3.2. Método de Avaliação

Em cada fazenda foram alocadas 5 parcelas de monitoramento, cada parcela possui uma área de 729m² contendo 100 plantas, sendo consideradas 10 plantas no sentido da linha e cada linha contendo 10 plantas, ao todo foram analisadas 500 plantas por fazendas. As plantas marcadas foram avaliadas periodicamente (de 3 em 3 meses) quanto à

presença de sintoma da doença (incidência) ao longo do tempo. O sintoma considerado nesta avaliação foi a epinastia, murcha das folhas e presença de brotações ao longo do tronco (Figura 3).



Figura 3. Árvores com brotações ao longo do tronco, mostrando sintomas externos ocasionados pelo fungo *Ceratocystis fimbriata*.

Para diagnóstico e confirmação da doença, foi coletado material do tronco com sintoma do fungo *Ceratocystis fimbriata*. Os fragmentos do material foram submetidos a uma desinfestação superficial com álcool 70% durante 1 minuto, seguido de uma submersão em hipoclorito de sódio a 2% durante 1 minuto finalizando com uma lavagem em água destilada esterelizada por mais 1 minuto. Os fragmentos desinfestados foram depositados sobre discos de cenoura, pelo método de câmara úmida, sendo esta técnica considerada seletiva (MOLLER; DÉVAY, 1968). A confirmação do fungo foi analisada após a formação completa do peritécio, estrutura característica de *C. fimbriata* que posteriormente foi coletada uma pequena porção da mucilagem com esporos contida nesta estrutura, e esta mucilagem foi riscada em uma placa contendo meio MEA (2% de malte, 0,2% de extrato de levedura e 1% de ágar) e colocada para crescimento das colônias em condições controladas a 25°C.

3.3. Dinâmica Espaço-Temporal

Para a análise da dinâmica espaço-temporal da doença foram analisados os dados de incidência que entende-se como a porcentagem (frequência) de plantas doentes em uma amostra ou população.

Determinou-se a incidência da doença em função do tempo (10 avaliações), para as fazendas Itapoã, Campo Alegre e Chapadinha, no período de 2008 a 2011 e para a fazenda Vargem Grande de 2005 a 2011, aplicando-se posteriormente modelos não-flexíveis empregados para descrever as curvas de progresso de doença ao longo do tempo, sendo estes dados superiores a zero, com vistas à obtenção de dados analisáveis.

O modelo matemático utilizado foi o empírico ou descritivo, conforme citado por Junior et al., (2004) pois descrevem a relação observada entre duas ou mais variáveis, correlacionando apenas os dados observados, assim a equação da reta é:

$$y = a + bx,$$

sendo:

y = variável dependente

x = variável independente

a = estimado pela equação (inóculo inicial)

b = estimado pela equação (taxa de progresso)

Calculando os valores médios por avaliação da incidência por fazenda, compararam-se os seguintes modelos: Logístico (Logito), Gompertz (Gompito) e Monomolecular (Monito) conforme descrito por Vanderplank (1963). Para o cálculo dos modelos, foram utilizadas as seguintes equações:

Logito: $y = \ln(y/(1-y))$

Gompito: $y = -\ln(-\ln(y))$

Monito: $y = \ln(1/(1-y))$

Em que: y = Proporção de doença; Proporção = incidência/100

Para a determinação do R^2 e dos coeficientes (Interseção e Variável X1) do logito, monito e gompito, realizou-se a regressão entre os valores reais de logito, monito e gompito, e o período das avaliações. Estes foram ajustados de acordo com dados reais e previstos, com obtenção dos coeficientes de determinação (R^2) e coeficiente de determinação ajustado da análise de regressão (R^{2*}). Para o cálculo de R^{2*} foi preciso calcular os dados previstos para logito, monito e gompito. Para tal, calculou-se a variável y_0 , sendo:

$$\text{Logito: } y_0 = (\exp(y) / (1 + \exp(y)))$$

$$\text{Gompito: } y_0 = \exp(-\exp(-y))$$

$$\text{Monito: } y_0 = (\exp(y) - 1) / (\exp(y))$$

Posteriormente à determinação de y_0 para cada condição, calculou-se cada modelo previsto, selecionando assim o modelo que melhor se ajustou aos dados de progresso da doença..

$$\text{Logito: } Y = 1 / (1 + ((1/y_0) - 1) * \exp(-r * t))$$

Em que:

y_0 = y_0 calculado para Logito;
 r = Variável X1 obtida para Logito;
 t = Período da avaliação.

$$\text{Monito: } Y = 1 - (1 - y_0) * \exp(-r * t)$$

Em que:

y_0 = y_0 calculado para Monito;
 r = Variável X1 obtida para Monito;
 t = Período da avaliação.

$$\text{Gompito: } Y = \exp(-(-\ln(y_0)) * \exp(-r * t))$$

Em que:

y_0 = y_0 calculado para Gompito;
 r = Variável X1 obtida para Gompito;
 t = Período da avaliação.

Para a análise espacial da murcha de *Ceratocystis* foi utilizado o software Geostatistics for the Environmental Sciences (GS⁺) versão 7.0, pois este tem sido aplicado para modelar o padrão espaço-temporal e gerar hipóteses sobre aspectos epidemiológicos de doenças de plantas (CHELLEMI, 1988).

Na análise foram utilizados os dados de incidência, caracterizados como dados binários, sendo, portanto, as plantas classificadas como sadias (0) e doentes (1), de acordo com os valores das notas de incidência obtidos nas diferentes épocas de avaliação do monitoramento. Todas as plantas das parcelas foram georreferenciadas obtendo as coordenadas geográficas em UTM. A análise da variabilidade espacial dos dados foi realizada por meio da geoestatística, considerando a dependência espacial no intervalo de amostragem. A dependência espacial foi verificada pelo ajuste de variogramas com base nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca. O variograma é estimado pela Equação (1) (Vieira, 1983):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

em que:

$\gamma^*(h)$ - variograma estimado

$N(h)$ - número de pares de valores medidos $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, separados por um vetor distância h .

Os modelos teóricos (esférico, exponencial, gaussiano e linear) de variogramas isotrópicos gerados foram ajustados ao variograma experimental dos dados (BURROUGH; McDONNELL, 1998). Onde C_0 é o efeito pepita e $C_0 + C$ o patamar, a o alcance e h , a distância. O ajuste dos modelos foi escolhido em função dos parâmetros dos variogramas, e os coeficientes de determinação (R^2). Para a validação do ajuste do variograma e do interpolador foi utilizado o coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados obtidos pela validação cruzada (*cross-validation*).

Na classificação do padrão espacial da doença foi utilizada a classificação de Zimback et al. (2001), em que são considerados de fraca dependência espacial os variogramas que têm efeito pepita < 25% do patamar, moderada quando entre 25 e 75% e

de forte quando >75%. Após o ajuste dos variogramas, foi realizada a interpolação por krigagem indicativa e mapeamento da epidemia no espaço e no tempo.

3.4. Planejamento Evasivo

Na construção do mapa de favorabilidade da murcha de *Ceratocystis* em Minas Gerais foram utilizados os dados climáticos de precipitação (mm), temperatura mínima, média e máxima (°C) e altitude (m) oriunda do WORLDCLIM (Global Climate Data) <<http://www.worldclim.org/>> (HIJMANS et al. 2005). Para verificar se as variáveis ambientais do WORLDCLIM representam as condições climáticas de Minas Gerais, foi realizada uma análise de regressão linear com os dados médios mensais de precipitação (mm) do WORLDCLIM e os dados reais médios mensais de precipitação (mm) das fazendas Itapoã, Campo Alegre, Chapadinha e Vargem Grande no período de 1986 a 2008 e a partir do coeficiente de determinação R^2 pode se inferir se os dados são representativos para a análise.

Posteriormente, utilizando o software DIVA-GIS e na ferramenta ECOCROP foi selecionada a espécie *Eucalyptus urophylla* e as variáveis ambientais temperatura e precipitação, sendo que a temperatura variou em 5°C de 15°C a 30°C, e precipitação variou em 200mm que foi de 800mm a 1400mm. Na predição foi utilizado o layer do estado de Minas Gerais e o banco de dados do worldclim_2-5m. Após esta etapa, realizou-se a interpolação dos dados, com a geração de "layers" elaborando assim seis classes de favorabilidade à doença e o mapa de favorabilidade à murcha de *Ceratocystis fimbriata* para o estado de Minas Gerais.

3.5. Quantificação dos Danos

A quantificação dos danos foi realizada para as fazendas Itapoã, Campo Alegre, Chapadinha e Vargem Grande. Os parâmetros analisados foram divididos em três processos: silvicultural, carbonização e energético. Em cada processo foram selecionados os parâmetros mais importantes e as análises foram executadas conforme as normas descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros analisados e normas utilizadas na quantificação dos danos da murcha de *Ceratocystis*.

| Parâmetros\Processo | Silvicultural | Carbonização | Energético |
|---------------------------------|-------------------|--------------|--------------|
| Volume (m ³ /ha/ano) | Smalian | | |
| Densidade (Kg/m ³) | ABNT/NBR 11941 | | |
| Lignina- % | TAPPI T 222 om-98 | | |
| Extrativos - % | TAPPI T 12 wd-82 | | |
| Produção de Carvão - Kg | | PSC/PSM *100 | |
| Rendimento Gravimétrico - % | | | |
| Volatéis - % | | | |
| Cinzas - % | | ABNT/NBR 812 | |
| Carbono fixo - % | | | |
| Poder Calorífico – Kcal/Kg | | | ABNT/NBR8633 |

O delineamento experimental foi composto de 4 fazendas, 12 plantas/fazenda, sendo 6 plantas sadias e 6 seis plantas doentes do clone VM03 (Suscetível) totalizando 48 árvores. A coleta do material no campo foi bem criteriosa (Figura 4). Primeiro coletou-se as amostras de discos das árvores doentes anotando-se a altura onde se encontrava a doença e com base nesta informação foram coletados os discos das árvores sadias.

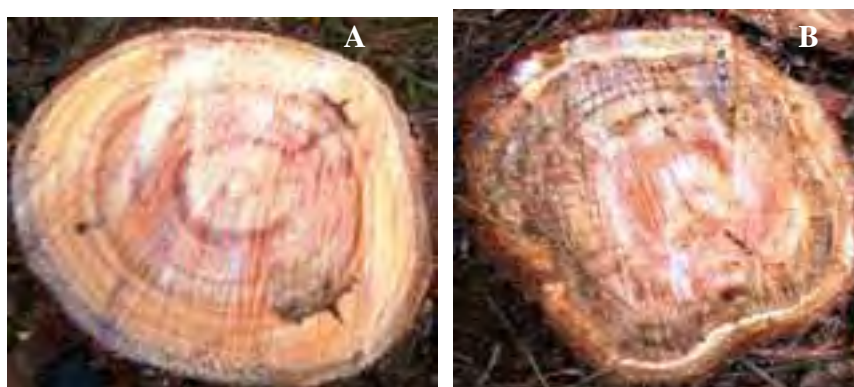


Figura 4. Amostra de disco de plantas sadias (A) e doentes evidenciando a presença de estrias escuras (B).

Na análise da quantificação dos danos foi elaborada uma tabela resumo com os dados analisados nos itens anteriores, comparando-se os valores de árvores sadias e

doentes, conforme Bergamin Filho et al. (1996). Para o cálculo foi considerado o percentual de danos, que é a diferença do parâmetro analisado entre plantas sadias e plantas doentes, conforme a equação abaixo:

$$\% \text{ dano} = ((X_s - X_d) / X_s) \times 100$$

Onde:

X_s : parâmetro analisado de plantas sadias

X_d : parâmetro analisado de plantas doentes

3.5.1. Processo Silvicultural

Para a quantificação dos danos no processo silvicultural a metodologia foi específica para cada parâmetro analisado, conforme descrito abaixo:

3.5.1.1 Volume

O volume foi calculado para as 48 árvores, utilizando a metodologia da cubagem rigorosa que visa estimar o volume de madeira em função do diâmetro da altura do peito (DAP) e a altura. Com auxílio de uma trena, mediu-se a altura total da árvore e a altura comercial (altura correspondente ao DAP de 9 cm). Posteriormente, a árvore foi derrubada e dividida em toras nas alturas (comprimento) de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85 e 95% da altura total e mediu-se o diâmetro de cada tora.

O cálculo do volume com casca da árvore foi obtido pelo tradicional e eficiente método de Smalian (COUTO, 1989). Onde o volume da seção é obtido através do produto, da média das áreas seccionais dos extremos da tora, pelo seu comprimento.

$$V_i = \frac{(G_i + G_{i+1}) * L}{2}$$

V_i : Volume da tora

G_i : Áreas seccionais nos extremos das toras

L : Comprimento da tora

VR : Volume real

E o volume total da árvore cubada é a somatória dos volumes de cada seção.

$$VR = V_i + V_{i+1} + V_{i+2} + V_{i+3} + \dots + V_{i+n}$$

O volume real/ha foi calculado pela multiplicação do **VR*1111**, sendo 1111 o número plantas no espaçamento 3x3. O volume cilíndrico (**VC**) foi calculado pela fórmula:

$$VC = h * a * 1111,$$

Em que:

VC: volume cilíndrico (m³/ha)

h: altura (m)

a: área base no DAP (cm)

O fator de forma foi quantificado pela divisão do volume real (VR) pelo volume cilíndrico (VC), e o incremento médio anual (IMA) foi estimado pela fórmula abaixo, sendo este o valor de discussão deste trabalho.

$$IMA = VC/\text{ano}$$

Em que:

IMA = incremento médio anual (m³/ha/ano)

VC = volume cilíndrico (m³/ha)

ano = idade da floresta

3.5.1.2 Densidade Básica

Para a análise de densidade básica da madeira foram coletadas 3 amostras das 48 árvores nas alturas base, centro e topo, cada peça medindo 10 cm de altura, totalizando 144 análises. E os dados analisáveis deste trabalho foram com base nas médias das amostras base, centro e topo para cada árvore, totalizando 48 análises. A metodologia utilizada foi a norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA, 2003) “Madeira – Determinação da Densidade Básica”.

3.5.1.3 Qualidade da Madeira (Lignina e Extrativos)

Para a análise no teor de lignina e extrativos da madeira foram coletadas 3 amostras das 48 árvores nas alturas base, centro e topo, cada peça medindo 10 cm de altura, resultando em 144 análises, considerando que as análises foram realizadas em duplicatas, totalizou-se 288 análises. E os dados analisáveis deste trabalho foram com base nas médias das amostras na base, centro e topo e repetição de cada árvore, totalizando 48 análises.

Nessas análises utilizaram-se as metodologias de acordo com a norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 1986) “Análise do Teor de Lignina-Klason” e a norma (ABNT,1974; TAPPI, 1976)-“Solubilidade da Madeira em Álcool Tolueno, respectivamente.

3.5.2. Processo de Carbonização

Para a quantificação dos danos no processo de carbonização a metodologia foi específica para cada parâmetro analisado, conforme descrito abaixo:

3.5.2.1 Produção de Carvão Vegetal

Para as análises do processo de carbonização foram coletadas 3 amostras das 48 árvores nas alturas base, centro e topo, cada peça medindo 50cm de altura.

As análises de carbonização foram realizadas no laboratório de carbonização do CAPEF (Centro de Apoio a Pesquisa e Desenvolvimento Florestal) da empresa V&M Florestal (Figura 5), sendo que a carbonização foi realizada em forno elétrico a temperatura máxima controlada de 450°C totalizando 24 fornadas, pois cada fornada continha 3 amostras de árvores sadias e 3 amostras de árvores doentes. A temperatura foi monitorada através de termopares e os dados foram armazenados no software “Field Chart Novus”, objetivando calcular a taxa de aquecimento do processo de carbonização.



Figura 5. Forno elétrico com termopares (A). Amostras de madeiras sadias e doentes para carbonização no forno elétrico (B) Madeira enfiada para ignição do processo de carbonização (C).

3.5.2.2 Rendimento Gravimétrico

O rendimento gravimétrico foi analisado para 48 análises (24 amostras sadias e 24 doentes) que foi expresso pela quantidade de carvão produzido por unidade de peso de madeira, conforme Pinheiro (2008).

$$\text{RGC} = (\text{PCS} / \text{PMS}) \times 100$$

em que,

RGC = Rendimento gravimétrico da carbonização;

PCS = Peso do carvão seco;

PMS = Peso da madeira seca.

3.5.2.3 Análise Imediata

Para a análise imediata foram coletadas 48 amostras de carvão vegetal, sendo 24 amostras das madeiras sadias e 24 amostras de madeiras doentes, considerando que as análises foram realizadas em duplicatas, totalizou 96 análises. Os dados analisáveis deste trabalho representam a média das repetições, totalizando 48 análises. Esta análise determina o teor de Materiais Voláteis, Cinzas e Carbono Fixo do carvão vegetal e a metodologia utilizada foi conforme a norma da ABNT, (1986) – “Determinação da Análise Imediata”.

3.5.3. Processo Energético

3.5.3.1 Poder Calorífico

Para a análise do poder calorífico foi coletado 3 amostras de carvão provenientes de madeira sadia e três amostras de carvão de madeira doente de cada fazenda,

totalizando 12 análises. A metodologia foi conforme a norma da ABNT, (1984) - “Poder Calorífico Superior”, O poder calorífico (superior) dos combustíveis sólidos (e líquidos não voláteis) foi determinado experimentalmente através da bomba calorimétrica de Mahler, quantificando assim a energia que o material combustível libera quando queimado totalmente.

3.6 Análises Estatísticas

Para a execução das análises estatísticas foram realizadas as análises de variância considerando o modelo misto (efeito aleatório: fazendas e repetição; efeito fixo: diagnose (doente ou sadia) e efeito aninhado: (repetição dentro das fazendas), conforme Ramalho (2005).

$$Y_{ijk} = m + t_i + r_{j(k)} + f_k + f^*t_{ik} + e_{ij(k)}$$

sendo,

m = é a média geral

t_i = é o efeito diagnose (sadia/doente) i , com $i = 1,2$

$r_{j(k)}$ = é o efeito do repetição j dentro de fazenda k , onde $j = 1$ a 6

f_k = é o efeito da fazenda k , com $k = 1$ a 4

f^*t = é a interação entre fazenda e diagnose

$e_{ij(k)}$ = é o erro experimental

Os resultados foram comparados por meio de análises de variâncias e para os casos em que foram evidenciadas diferenças significativas entre os grupos comparados (fazendas e diagnose: sadia/doente), estes foram comparados por meio do teste de comparações múltiplas *Scott Knott* pelo programa estatístico SISVAR.

3.7. Quantificação das Perdas

Quantificar as perdas ocasionadas pela murcha de *Ceratocystis* é uma etapa muito importante para a sustentabilidade das florestas plantadas, pois assim mensuramos em forma de valores, quais são os verdadeiros prejuízos ocasionados por este fungo na cadeia produtiva do carvão vegetal.

O cálculo de perda foi analisado de duas formas:

1. Geral: considerando a primeira e a segunda rotação da floresta.

Neste caso, os parâmetros considerados na estimativa de perdas foram: mortalidade de plantas

no primeiro ano da doença da fazenda Vargem Grande, que foi de 14%, a redução da produtividade (m^3/ha) entre plantas sadias e doentes que foi de 20% e o custo do plantio de implantação e condução. O prejuízo calculado foi para a grandeza de 1ha. Na transformação da produção em valores em reais (R\$), foram considerados os dados de acordo com o site <http://www.ciflorestas.com.br/cotacoes.php>, sendo o preço da madeira em pé no Norte de Minas Gerais considerado é de R\$ 45,00/ m^3 .

2. Por Fazenda: neste caso, foi avaliado os aspectos qualidade, referente a qualidade do carvão vegetal produzido, que não foi alterada; o econômico, onde foi calculado a diferença de produtividade entre as plantas sadias e doentes, e esta diferença foi multiplicada por R\$45,00/ m^3 e o fator risco, determinado pela incidência da doença no campo em cada fazenda. Posteriormente, no presente trabalho foi elaborada uma escala de notas, cujos valores variaram de 1 a 3, sendo 1 (baixo), 2 (médio) e 3 (alto), para cada parâmetro analisado. Assim, com base na soma total de cada item as fazendas obtiveram uma classificação numérica, sendo que o menor prejuízo obtiveram valores menores que 3, valores entre 4 e 5, prejuízo médio e valores superiores a 5 alto prejuízo, ou seja, as fazendas que tiveram as maiores notas tiveram os maiores danos e perdas ocasionadas pelo fungo *C. fimbriata*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Dinâmica Espaço-Temporal

4.1.1 Análise Temporal

A primeira detecção da doença foi verificada na fazenda Vargem Grande, onde a murcha de *Ceratocystis* foi monitorada de 1 a 7 anos, mas somente no primeiro ano foi constatado mortalidades de plantas, que foi em média de 14%. A Tabela 3 apresenta o percentual de mortalidade de plantas por parcela no primeiro ano da doença.

Tabela 3. Percentual de mortalidade de plantas por parcela no primeiro ano da doença na fazenda Vargem Grande, Bocaiúva, MG (2005).

| 1ª parcela | 2ª parcela | 3ª parcela | 4ª parcela | 5ª parcela | Média |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| 9% | 16% | 17% | 20% | 8% | 14% |

Após o 2º ano de idade, as plantas que não morreram, continuaram o seu desenvolvimento mesmo com a presença do fungo. E analisando os dados de incidência da doença ao longo tempo verifica-se que o número de plantas doentes aumenta no decorrer dos anos em todas as fazendas (Figura 6).

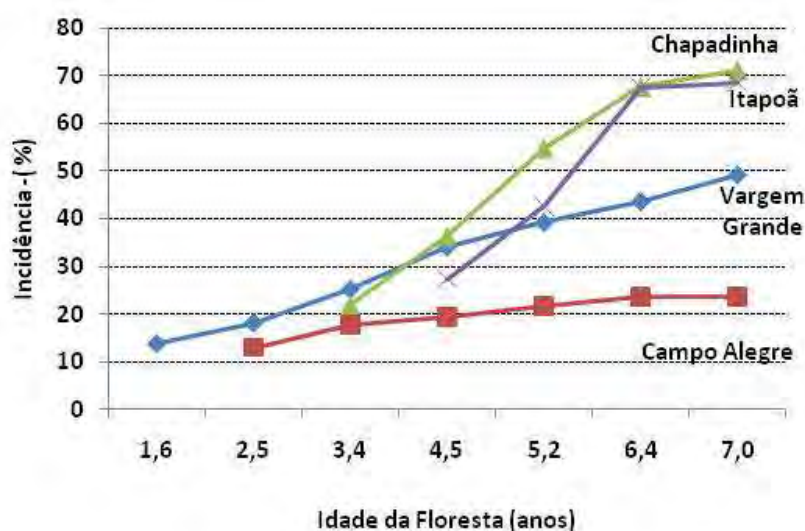


Figura 6. Incidência (%) da murcha de *Ceratocystis* ao longo dos anos em plantios de eucalipto para as fazendas Itapoã, Campo Alegre, Chapadinha e Vargem Grande (2005-2011).

No município de João Pinheiro/MG, a fazenda Chapadinha obteve o maior número de plantas doentes (71%) e o menor número de plantas saudáveis foi na fazenda Campo Alegre (24%), neste mesmo município. Nas fazendas Vargem Grande e Itapoã a incidência foi de 49% e 69%, respectivamente e todos os plantios com a idade de 7 anos. Acredita-se que as variações da incidência da doença nas fazendas estudadas podem estar relacionadas com a quantidade de inóculo presente em cada local. Outro fator que influencia a incidência da doença é o ambiente, pois é conhecido que ambiente influencia as fases de infecção, incubação, esporulação, dispersão e sobrevivência do patógeno.

Dos modelos testados (Logito, Gompertz e Monito), o modelo linearizado ajustado Monomolecular foi o que melhor se ajustou aos dados em todas as fazendas estudadas. A Tabela 4 apresenta as variáveis encontradas em cada modelo para cada fazenda em estudo.

Tabela 4. Dados dos modelos logito, gompertz e monito para o estudo de análise temporal da murcha de *Ceratocystis* em Minas Gerais.

| Modelos | Parâmetros | Campo Alegre | Chapadinha | Itapoã | Vargem Grande |
|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------|---------------|----------------------|
| Logito | a | -2,32 | -1,88 | -4,03 | -2,06 |
| | b | 0,17 | 0,45 | 0,63 | 0,31 |
| | R² | 0,93 | 0,89 | 0,92 | 0,98 |
| | R*2 | 0,93 | 0,77 | 0,83 | 0,93 |
| | Resíduo | 0,00 | 0,03 | 0,01 | 0,01 |
| Gompertz | a | -0,92 | -0,91 | -2,46 | -0,85 |
| | b | 0,08 | 0,32 | 0,45 | 0,18 |
| | R² | 0,93 | 0,89 | 0,92 | 0,98 |
| | R*2 | 0,93 | 0,80 | 0,85 | 0,95 |
| | Resíduo | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| Monomolecular | a | 0,06 | -0,14 | -1,21 | 0,04 |
| | b | 0,03 | 0,22 | 0,31 | 0,09 |
| | R² | 0,97 | 0,93 | 0,92 | 0,99 |
| | R*2 | 0,96 | 0,89 | 0,91 | 0,99 |
| | Resíduo | 0,00 | -0,02 | -0,01 | 0,00 |

Legenda: a=interseção ou inóculo inicial; b= variável x ou taxa de progresso da doença

A Figura 7 apresenta o modelo monomolecular da doença para cada fazenda. Com base nos modelos foi possível avaliar o tempo necessário para a doença atingir o percentual de falhas tolerável para a empresa e o tempo necessário para o patógeno infectar 100% das plantas nas parcelas monitoradas.

Considerando que as empresas florestais toleram 5% de falhas no plantio e com base nos dados dos modelos obtidos das fazendas Campo Alegre, Chapadinha e Vargem Grande verificamos que o monitoramento da doença dever ser realizado logo após o plantio, visando a tomada de decisão do replantio da área, sendo este um forte indicativo de que as mudas já foram para o campo infectadas pelo patógeno. Por outro lado, para a obtenção de 100% das plantas doentes no campo a fazenda Itapoã levaria 18 anos, Chapadinha 21 anos Vargem Grande 50 anos e Campo Alegre 145 anos.

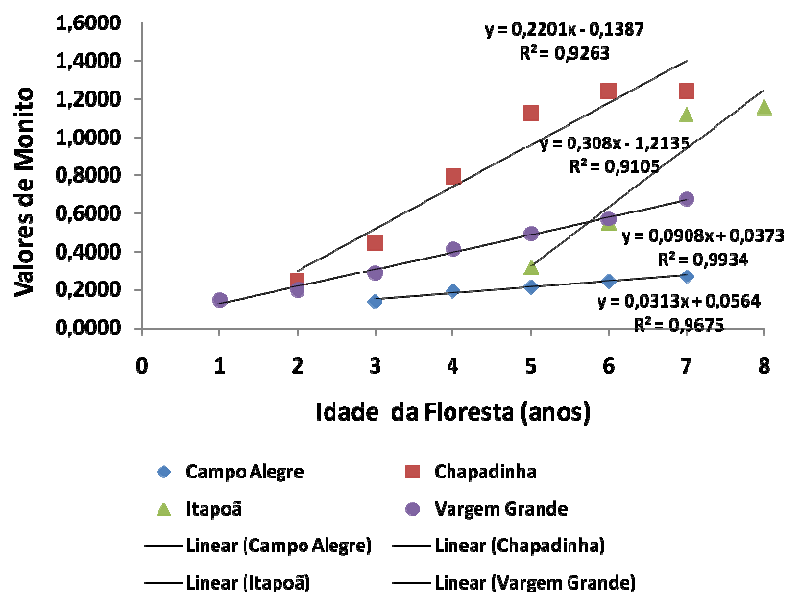


Figura 7. Análise de regressão do modelo monomolecular para o progresso da murcha de *Ceratocystis* em plantios de eucalipto para as fazendas Itapoã, Campo Alegre, Chapadinha e Vargem Grande/MG (2005-2011).

Um das principais preocupações com a murcha de *Ceratocystis* é o inóculo que fica presente no campo após a colheita, ou seja, nas cepas. De acordo com os resultados obtidos verifica-se uma percentagem de: 71%, 69%, 49% e 24% das cepas contaminadas das respectivas fazendas Chapadinha, Itapoã, Vargem Grande e Campo Alegre, o que seria um prejuízo adicional para a empresa, pois este nível de infestação inviabiliza a condução da floresta para o 2º corte devendo toda a área ser renovada com plantios de clones resistentes. Dessa forma, conhecer o progresso de uma doença ao longo do tempo e do espaço, a partir da fonte de inóculo, possibilita conhecer a dinâmica da interação de patógenos com hospedeiros, auxilia a estabelecer padrões de tolerância para patógenos, contribui para o manejo da doença e conseqüente aumento da produtividade das culturas (BERGAMIN FILHO et al., 2004).

Bergamin; Amorim. (1996) descreveram que o modelo monomolecular é o que melhor se ajusta a doenças tipo murchas vasculares. Esse mesmo modelo também foi selecionado por Ferreira (2009) como o melhor modelo de ajuste para o fungo *Ceratocystis fimbriata* no Estado de Minas Gerais e Bahia. No município de Bocaiúva em Minas Gerais,

esta mesma autora encontrou um valor de $k=0,004/\text{dia}$ e para a região da Bahia não foi significativo a análise de regressão entre os valores de incidência e o tempo analisado, também é relatado que uma redução na precipitação incrementa a incidência da doença no campo. Ferreira (2000) relacionou o surgimento da murcha do *Ceratocystis* no Brasil nos anos de 1997 e 1998, do qual nestes anos apresentaram déficit hídrico anormal em relação à pluviometria média da região do sudeste da Bahia. Em 2001, em Minas Gerais, Mato Grosso e Bahia o surgimento desta doença foi relacionado com a última época de estiagem.

4.1.2. Análise Espacial

Foram utilizadas as parcelas 1 e 3 das Fazendas Campo Alegre e Chapadinha e apenas a parcela 4 da fazenda Vargem Grande para a análise geoestatística. Nas outras parcelas não foi possível aplicar a geoestatística, porque houve efeito pepita puro e o coeficiente de determinação foi considerado baixo, evidenciando que não há dependência espacial. Neste caso, aplica-se a estatística clássica. Os mapas espaciais também não foram elaborados por não apresentarem ajuste variográfico, nesses casos, uma alternativa viável seria a interpolação por outro método espacial. As técnicas geoestatísticas usadas para descrever e modelar padrões espaciais (variografia) geraram variogramas que apresentaram os parâmetros descritos na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros que geram o variograma para a análise espacial da murcha de *Ceratocystis* em plantios de eucalipto nos municípios de João Pinheiro e Bocaiúva, MG (2008-2011).

| Ano | Parcela | Fazendas | N | Modelo | A (m) | Co | C | Co + C | IDE | IDE | R ² |
|------|---------|---------------|-----|-------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|----------------|
| 2008 | | | 100 | Exponencial | 7,23 | 0,010 | 0,134 | 0,144 | 93,06 | Forte | 0,98 |
| 2009 | 1 | Campo Alegre | 100 | Exponencial | 2,65 | 0,010 | 0,158 | 0,167 | 94,31 | Forte | 0,97 |
| 2010 | | | 100 | Exponencial | 2,57 | 0,008 | 0,151 | 0,160 | 94,74 | Forte | 0,96 |
| 2011 | | | 100 | Exponencial | 6,07 | 0,000 | 0,169 | 0,170 | 99,82 | Forte | 0,80 |
| 2008 | | | 100 | Exponencial | 2,97 | 0,008 | 0,150 | 0,149 | 92,75 | Forte | 0,85 |
| 2009 | 3 | Campo Alegre | 100 | Exponencial | 4,35 | 0,006 | 0,181 | 0,189 | 96,79 | Forte | 0,80 |
| 2010 | | | 100 | Spherical | 4,13 | 0,000 | 0,203 | 0,204 | 99,80 | Forte | 0,39 |
| 2011 | | | 100 | Spherical | 4,21 | 0,000 | 0,208 | 0,208 | 99,95 | Forte | 0,49 |
| 2008 | | | 100 | Spherical | 11,70 | 0,093 | 0,170 | 0,251 | 96,41 | Forte | 0,86 |
| 2009 | 3 | Chapadinha | 100 | Spherical | 9,00 | 0,045 | 0,179 | 0,223 | 80,02 | Forte | 0,75 |
| 2010 | | | 100 | Spherical | 5,99 | 0,018 | 0,144 | 0,161 | 89,13 | Forte | 0,72 |
| 2011 | | | 100 | Spherical | 6,46 | 0,021 | 0,125 | 0,142 | 85,86 | Forte | 0,70 |
| 2008 | | | 100 | Exponencial | 10,17 | 0,045 | 0,234 | 0,279 | 83,87 | Forte | 0,88 |
| 2009 | 4 | Vargem Grande | 100 | Exponencial | 10,53 | 0,049 | 0,235 | 0,285 | 82,65 | Forte | 0,90 |
| 2010 | | | 100 | Exponencial | 11,64 | 0,046 | 0,236 | 0,282 | 83,66 | Forte | 0,88 |
| 2011 | | | 100 | Exponencial | 11,04 | 0,045 | 0,045 | 0,281 | 15,84 | Fraca | 0,88 |

Legenda: a (alcance) – C₀ (efeito pepita puro) – C (patamar) – C₀ + C (variância dos dados) - IDE (índice de dependência espacial) - R² (Coeficiente de determinação).

Nos dados analisados destaca-se o uso do modelo Exponencial, nas fazendas Campo Alegre parcela 1 e a fazenda Vargem Grande parcela 4, este mesmo modelo representou 50% na fazenda Chapadinha parcela 3 e 100% das avaliações ajustaram ao modelo Spherical na parcela 4 na fazenda Vargem Grande. Na classificação do Índice de Dependência Espacial (IDE) foi verificado que houve forte dependência espacial na distribuição da doença para todas as fazendas, evidenciando que a ferramenta geoestatística tem potencial de uso na análise espacial da murcha de *Ceratocystis*.

O alcance da dependência espacial variou de 2,57m no ano de 2010 na fazenda Campo Alegre a 11,70m no ano de 2008 na fazenda Chapadinha. O padrão de alcance mostrou-se homogêneo, sendo que nas fazendas o valor da dependência espacial se repetiu em todos os anos, com poucas exceções.

Esta forte dependência espacial da doença leva a concluir que a murcha de *Ceratocystis* ocorre de forma agregada. Várias hipóteses podem contribuir para este comportamento: a) propagação da doença por mudas doentes do viveiro para o campo, cujas as plantas podem desenvolver os sintomas rapidamente com mortalidade acentuada até o 2º ano e depois lentamente até a colheita; b) propagação da doença a partir de uma ou várias fontes de inóculo espalhadas pelo talhão via solo contaminado e contato radicular; c) disseminação pelo inseto vetor que dissemina o patógeno para as plantas sadias adjacentes dentro do talhão ou para os talhões vizinhos, porém com baixa eficiência. Os sintomas da doença podem desenvolver no campo de forma rápida onde o índice de mortalidade aumenta até o 2º ano, ou sintomas lentos com mortalidade até o 7º ano.

Ferreira (2009) analisando o padrão espacial para esta mesma doença utilizando três tipos de análises: ordinary runs, autocorrelação espacial e distribuição de frequência, concluiu que para Minas Gerais, houve predominância de agregação de plantas. Esta predominância indicou que mudas infectadas pode ter influenciado o padrão da doença. Ferreira (2006) relatou que coletas de material propagativo em cepas no campo, podem ser uma das formas de se disseminar material contaminado para a fase de enraizamento no viveiro. Além disso, o fato das coletas ocorrerem de madrugada aumenta consideravelmente o risco de se levar hastes de brotações com infecção sistêmica, isto porque não é possível verificar a condição fitossanitária dos brotos coletados no período noturno. Outro mecanismo de dispersão é a associação da doença com insetos, como cupins e coleobrocas. Este mesmo

autor citou que espécies de inseto da família Platypodidae perfuram as plantas nas lesões mais velhas, interpretando que a associação do inseto é secundária ou não precursora da doença e que, provavelmente, os insetos foram atraídos por alguma substância química via lenticelas, ou trincamento da casca ou lenho, resultante do processo de doença no xilema secundário causada por *C. fimbriata*. Ferreira (2006) creditou que as infecções ocorridas no Estado de Minas Gerais se deram por inóculo primário presente no solo, isto devido ao padrão agregado da doença e a baixa taxa de progresso (comum para doenças poliéticas).

Após a análise exploratória, confecção, ajuste do variograma e interpolação dos dados foram analisados a validação do modelo utilizando o coeficiente de determinação (R^2). Como já mencionado anteriormente, não se aplicou a geoestatística para as fazendas Itapoã e Campo Alegre parcela 1, pois o coeficiente de determinação foi de 0,30 e 0,50 respectivamente. Entretanto, na fazenda Campo Alegre parcela 1 o coeficiente foi maior que 80%, na fazenda Chapadinha o R^2 foi maior que 70% na parcela 3 e na fazenda Vargem Grande o R^2 foi maior que 80% em todos os anos avaliados. Posteriormente, foi realizada a validação gerando a representação gráfica dos dados interpolados pelo programa GS⁺ versão 7.0, para o município de João Pinheiro/MG Fazenda Campo Alegre Parcela 1 (Figura 8) e Parcela 3 (Figura 9) e Fazenda Chapadinha Parcela 3 (Figura 10), e Bocaiúva/MG fazenda Vargem Grande Parcela 4 (Figura 11).

Nos mapas observa-se que as cores do amarelo para o vermelho representam as maiores probabilidades de se encontrar plantas doentes e a cor verde a azul claro as menores probabilidades.

No caso da fazenda Campo Alegre (Parcela 1) observa-se na Figura 8, inicialmente a presença de um foco principal no topo superior a esquerda da parcela e quatro focos menores distribuídos. O número de focos permanece o mesmo durante os 3 primeiros anos (2008 a 2010), porém com tamanho aumentado e o mesmo acontecendo com a intensidade de sintomas. Apenas em 2011, observou-se o incremento de mais um foco no topo, da parte central da parcela.

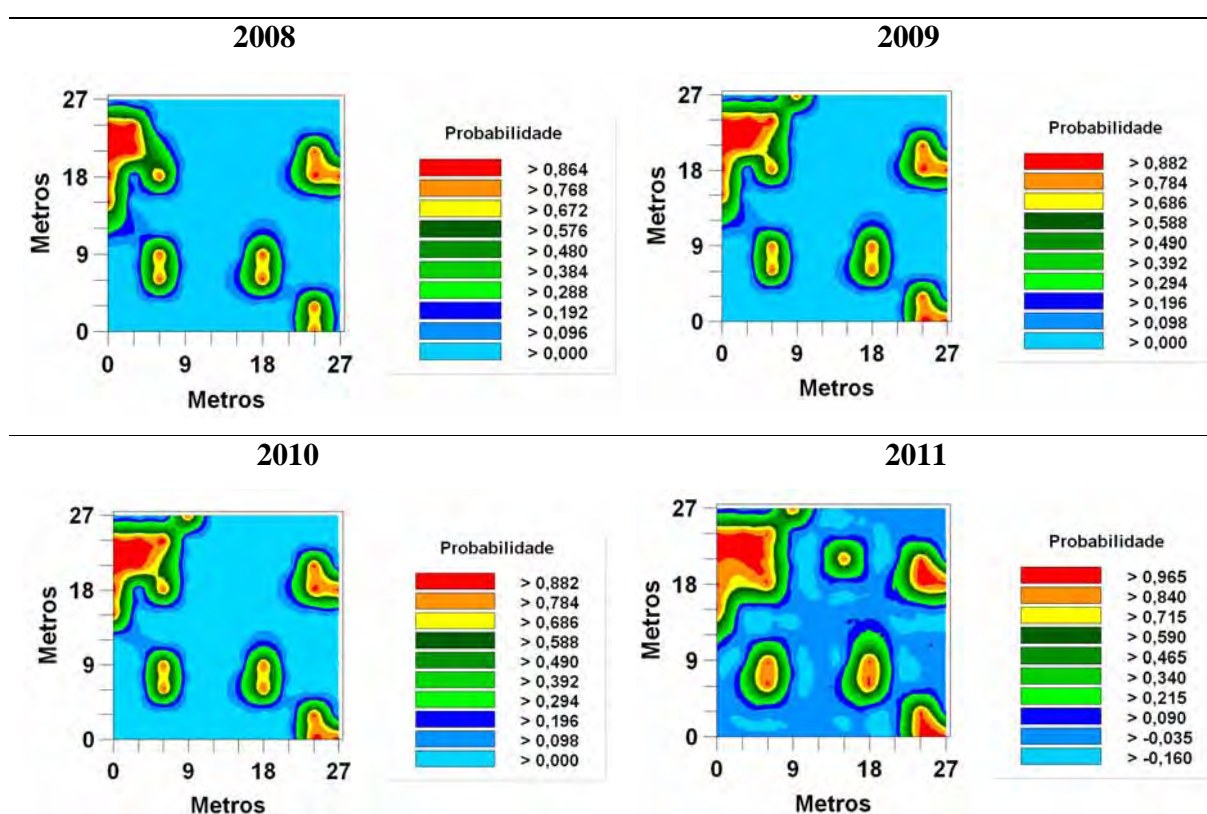


Figura 8. Distribuição espacial da murcha de *Ceratocystis* em plantios de eucalipto na fazenda Campo Alegre- parcela 1, em João Pinheiro, MG (2008-2011).

A Figura 9 representa a fazenda Campo Alegre (Parcela 3), observa-se no ano de 2008 a presença de 7 focos, sendo 1 grande na lateral direita da parcela e os outros 6 distribuídos no centro para o topo da parcela com tamanhos menores. A partir de 2010, os sintomas da doença se intensificaram e os focos se ampliaram tanto no sentido da linha como no da entrelinha, ocorrendo anastomose ou junção dos focos e consequentemente ampliação dos mesmos. Houve o surgimento de um novo foco no topo superior direito e um na lateral inferior esquerdo.

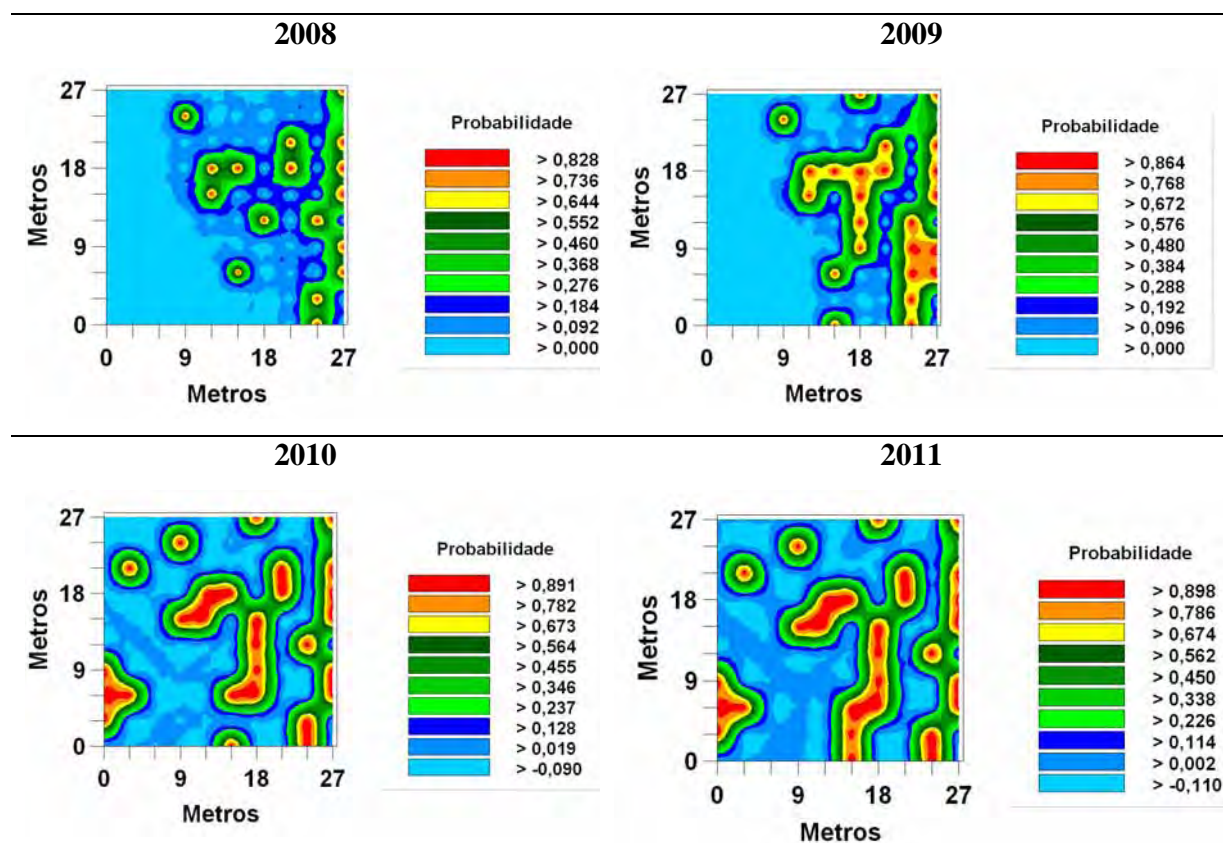


Figura 9. Distribuição espacial da murcha de *Ceratocystis* em plantios de eucalipto na fazenda Campo Alegre- parcela 3 em João Pinheiro, MG.

A Figura 10 representa a fazenda Chapadinha (Parcela 3), observou-se uma alta probabilidade de ocorrência da doença da borda para o centro da parcela, no flanco superior esquerdo e na borda direita, em 2008. Em 2009, o foco do flanco superior esquerdo se ampliou mais para a direita e para o centro da parcela. O foco da borda direita também se expandiu para o centro da parcela. Surgiu novo foco no canto inferior que se expandiu em diagonal ao centro e a esquerda do talhão. Em 2010 e 2011 a doença já pode ser encontrada em quase todo o talhão, sobrando poucas áreas com plantas saudias.

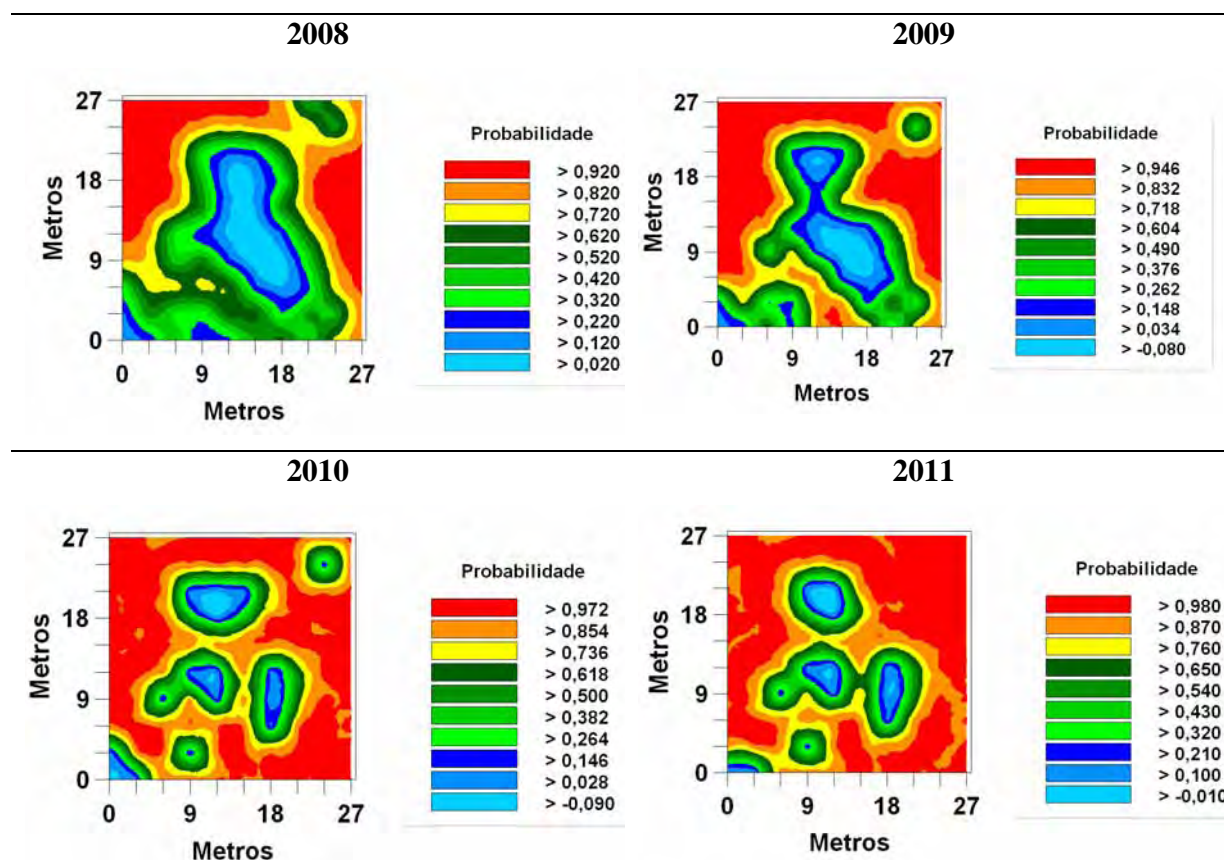


Figura 10: Distribuição espacial da murcha de *Ceratocystis* em plantios de eucalipto na fazenda Chapadinha- parcela 3 em João Pinheiro, MG.

A Figura 11 representa a fazenda Vargem Grande (Parcela 4), onde observou-se um grande foco ao centro da parcela de cima para baixo, em 2010 e 2011 ocorreu a ampliação deste foco para esquerda e direita da parcela, assumindo quase toda a parte superior esquerda.

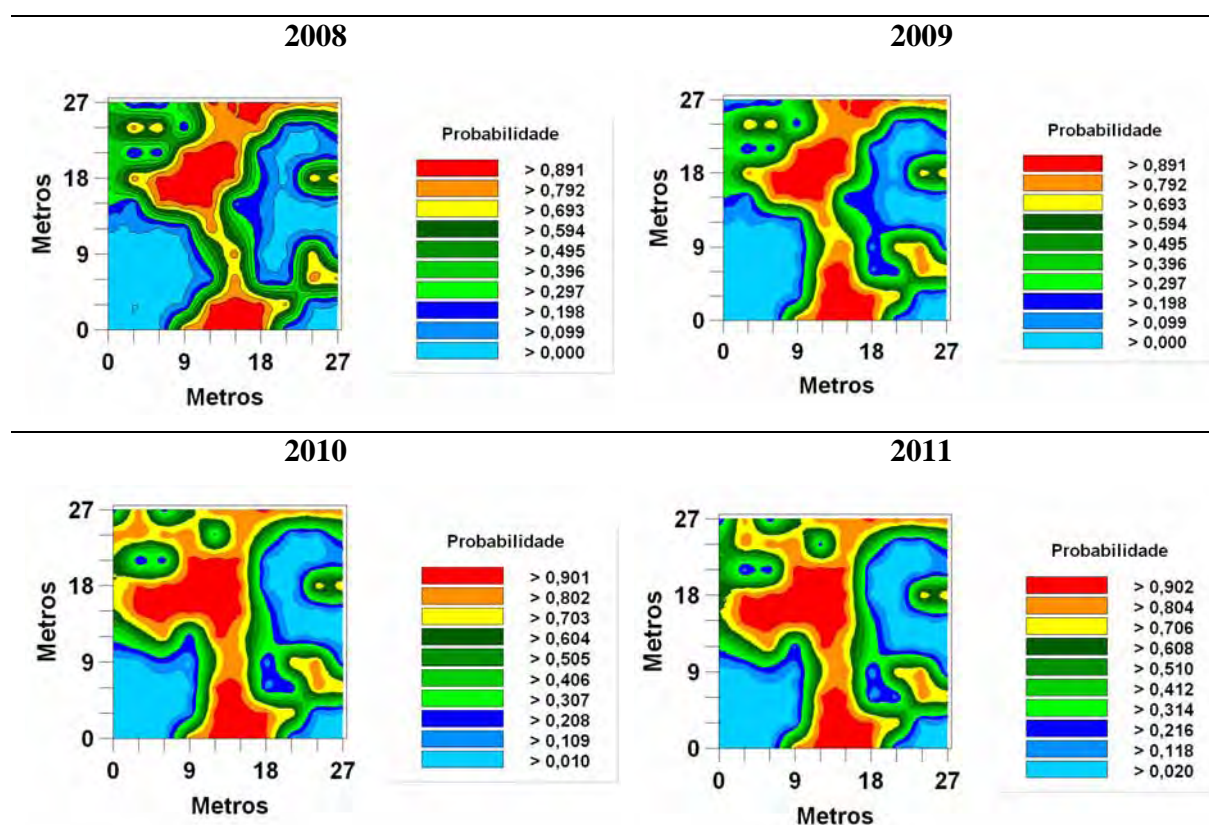


Figura 11. Distribuição espacial da murcha de *Ceratocystis* em plantios de eucalipto na fazenda Vargem Grande- parcela 4 em Bocaiúva, MG (2008-2011).

Mapas de distribuição de pragas e doenças de plantas utilizando a ferramenta geoestatística têm sido muito utilizados no setor agrícola nos últimos anos, Silva (2011) comparou a precisão de métodos de classificação de imagens orbitais e métodos de sensoriamento remoto e geoestatístico para a discriminação e quantificação da área plantada de citrus em regiões de São Paulo. Miranda et al. (2007) estudou a aplicação da geoestatística

na avaliação da distribuição espacial de *Maharnava fimbriola* em canã-de-açúcar, concluindo que a distribuição da praga é agregada. Estudos foram realizados para caracterizar o progresso espaço-temporal da severidade da antracnose do feijoeiro comum e da ramulose do algodoeiro por meio da geoestatística e pelos modelos de variograma isotrópicos esféricos e gaussianos ajustados aos dados verificou-se padrão de distribuição agregado e a dependência espacial de ambos patossistemas (ALVES et al., 2006). Utilizando a geoestatística através do ajuste de variogramas e da interpolação dos dados por krigagem foi verificada a distribuição espacial e a expansão da Huanglongbing (greening) em citros em São Paulo concluindo que o raio de agregação da doença é de 300 a 560 m, indicando que a distribuição da doença é agregada e por meio dos mapas de krigagem, observou-se que o foco inicial de plantas doentes ocorreu nos limites da fazenda, com expansão do greening por toda a área (LEAL et al., 2010), os autores citaram o uso da geoestatística nos estudos de dependência espacial de diversos patógenos causadores de doenças em outras culturas, como *Fusarium oxysporum* em tomateiro *Phytophthora infestans* em tomateiro e batateira, *Venturia inaequalis* em macieira e *Colletotrichum* spp. em feijoeiro e algodoeiro.

4.2. Planejamento Evasivo

Bergamin et al. (2004) relataram que os princípios de Whetzel são uma sistematização dos métodos de controle e estes podem visar o ambiente, o patógeno ou o hospedeiro, componentes do triângulo da doença. Um dos princípios que visam o ambiente chama-se evasão, que visa à prevenção da doença pela fuga em relação ao patógeno e/ou às condições ambientais mais favoráveis ao seu desenvolvimento, ou seja, é o plantio de uma planta suscetível em um ambiente desfavorável para ocorrência da doença.

Correlacionando os dados médios de precipitação (mm) do banco de dados do WORLDCLIM e os dados observados de precipitação das fazendas Itapoã, Campo Alegre, Chapadinha e Vargem Grande, obteve-se um coeficiente de determinação R^2 de 0,84, 0,82, 0,80 e 0,85, respectivamente (Figura 12), evidenciando que os dados do WORLDCLIM são representativos na análise da distribuição da doença murcha de *Ceratocystis* para o estado de Minas Gerais.

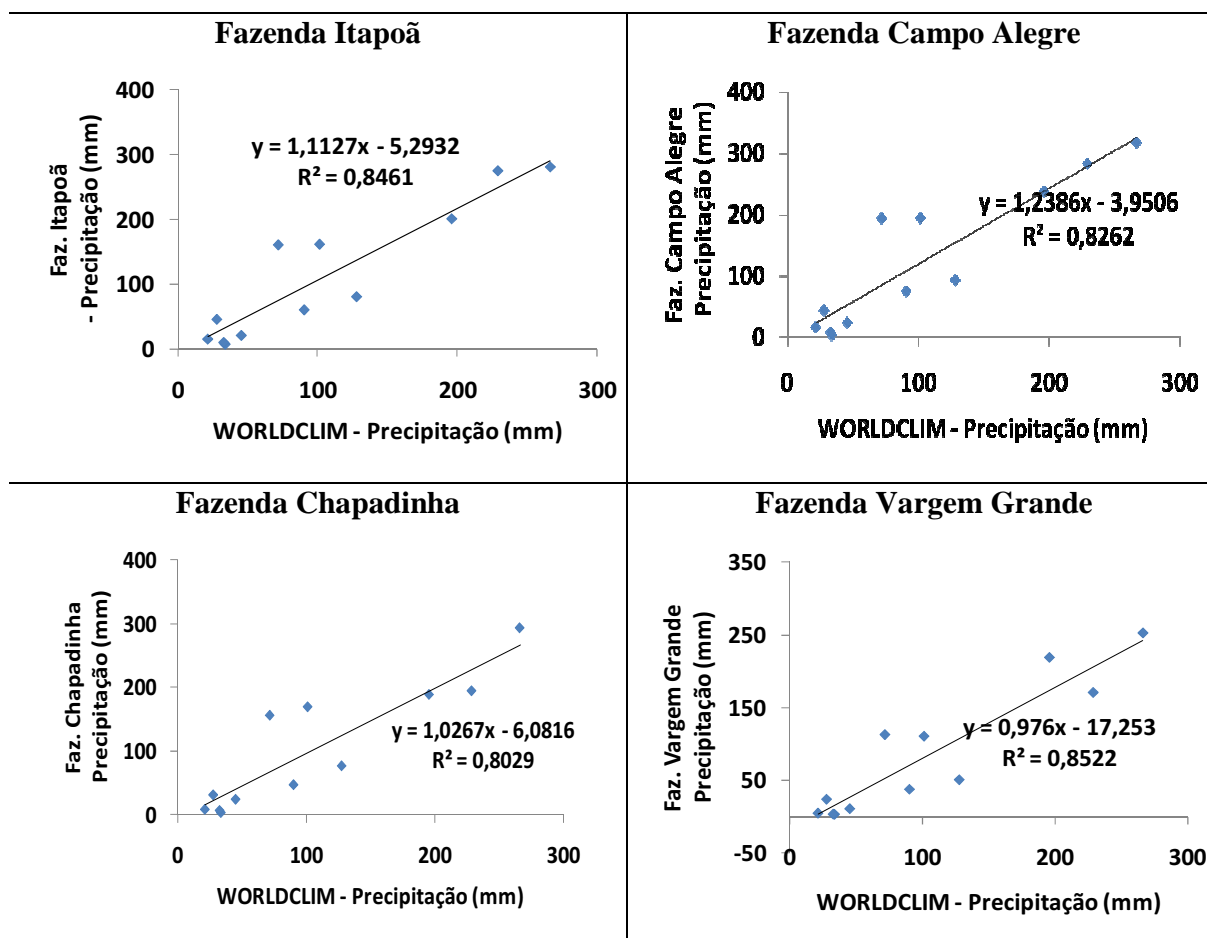


Figura 12. Correlação entre os dados médios mensais de precipitação (mm) do Worldclim e das fazendas Itapoã, Campo Alegre, Chapadinha e Vargem Grande.

Utilizando o software DIVA-GIS e a ferramenta ECOCROP, foi selecionada a espécie *Eucalyptus urophylla* e as variáveis ambientais temperatura de 15°C a 30°C e precipitação de 800mm a 1400mm. Na predição foi utilizado o layer do Estado de Minas Gerais e o banco de dados do worldclim 2-5m, gerando assim as classes e o mapa de favorabilidade da murcha de Ceratocystis para o Estado de Minas Gerais. Observam-se no mapa (Figura 13) que as regiões centro, norte e sudoeste do Estado de Minas Gerais são as regiões de maior favorabilidade da doença e a região sul de menor favorabilidade. Os municípios de Paraopeba, João Pinheiro e Bocaiúva onde se monitorou a doença situam-se por nas regiões de maior favorabilidade de ocorrência da doença.

Origem: ECOCROP
Base de dados: worldclim_2-5m
Espécie: *Eucalyptus urophylla* S.T.B
Graus mínimo: 180
Graus máximo: 365
Temp. mínima: 15
Temp. top mínima: 20
Temp. máxima: 25
Temp. top máxima: 30
Precip. mínima: 800
Precip. top mínima: 1000
Precip. máxima: 1200
Precip. top máxima: 1400
Interação: temperatura x precipitação

Mapa de Favorabilidade de Ocorrência da Murcha de *Ceratocystis* em Minas Gerais

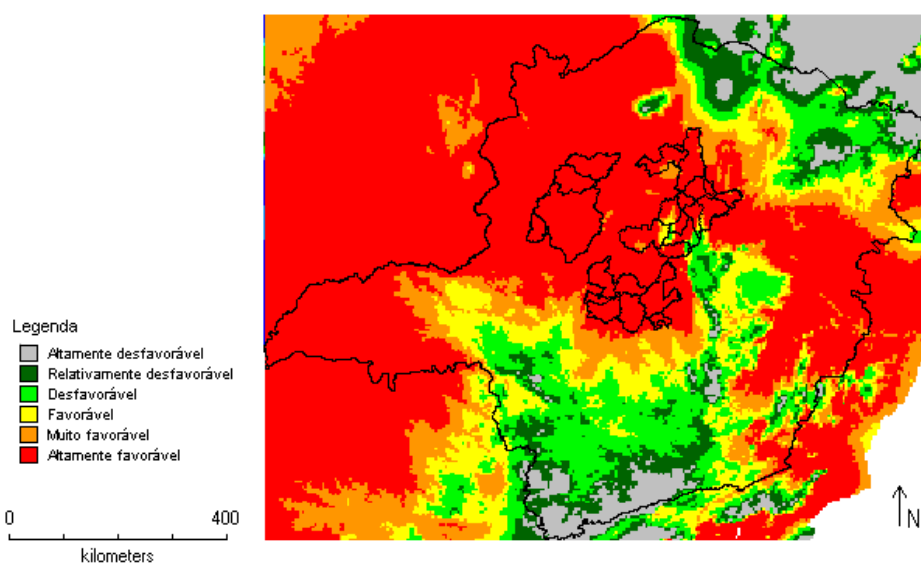


Figura 13. Mapa de favorabilidade da murcha de *Ceratocystis* em *Eucalyptus urophylla* para as fazendas Itapoã em Paraopeba, fazendas Campo Alegre e Chapadinha em João Pinheiro e fazenda Vargem Grande em Bocaiúva Minas Gerais.

Vale ressaltar que as regiões de maior favorabilidade da doença também são as áreas de menor regime pluviométrico no estado de Minas Gerais e com ocorrência de déficit hídrico acentuado. Em 2005, quando foi detectada a murcha de *Ceratocystis* em Bocaiúva e João Pinheiro, houve relato de ocorrência de 2000 ha com déficit hídrico e mortalidade de plantas em talhões de eucalipto variando de 1 a 18%. Ferreira et al (2006) relacionaram a murcha de *Ceratocystis* no Brasil nos anos de 1997 e 1998, com déficit hídrico anormal em relação a pluviometria média da região sudeste da Bahia. Em 2001, nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso e Bahia o aumento desta doença foi relacionado com a última época de estiagem. Pollefeys et al. (2004) fizeram uma análise preliminar dos dados de literatura na distribuição da murcha da bananeira usando DIVA-GIS na Colômbia, e esta mesma ferramenta tem sido utilizada nos estudos de zoneamento climático para a doença *Microcyclus ulei*.

Nos estudos de diversidade de espécies o software DIVA-GIS tem sido utilizado para avaliar a distribuição de espécie, Shabanimofrad et al. (2011) apresentaram a diversidade de *Jatropha curcas* na Malásia e Abraham et al. (2010) estudaram a abordagem do DIVA-GIS para a diversidade de *Vigna Mungo*. No presente trabalho verificou-se que a área de evasão à doença no estado de Minas Gerais se encontra na região noroeste e centro sul, diferindo dos locais onde foi monitorada a murcha de *Ceratocystis*, evidenciando que na região centro-norte estão as áreas de maior favorabilidade da doença, sendo necessário o plantio de materiais genéticos resistentes nesses locais.

4.3. Quantificação de Danos

4.3.1 Processo Silvicultural

Os dados apresentados são referentes aos resultados de qualidade da madeira para as árvores doentes (com fungo) e sadias (sem fungo) nos parâmetros: volume, densidade, lignina e extrativos. Analisando os dados da Tabela 6 e observa-se que para o parâmetro volume houve diferença significativa entre as fazendas e diagnose (sadia ou doente) e a interação entre fazenda e diagnose, o que significa que o fungo *C. fimbriata* influenciou a produtividade das árvores.

Tabela 6. Análise de variância para os parâmetros da qualidade da madeira: volume (m³/ha/ano), densidade (kg/m³), teor de lignina (%) e extrativos (%) de plantas sadias e doentes por *Ceratocystis fimbriata*.

| FV | GL | QM | | | |
|------------------------------|----|---------------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|
| | | Volume (m ³ /ha/ano) | Densidade (Kg/m ³) | Lignina (%) | Extrativos (%) |
| Repetições (fazendas) | 20 | 136,0 ^{ns} | 159,0 ^{ns} | 0,9 ^{ns} | 0,4 ^{ns} |
| Fazendas (F) | 3 | 797,5* | 5021,0* | 2,4* | 11,84* |
| Diagnose (T) | 1 | 2241,3* | 256,7 ^{ns} | 24,5* | 32,67* |
| F x T | 3 | 321,2* | 222,4 ^{ns} | 1,94* | 1,0 ^{ns} |
| Erro | 20 | 27,7 | 89,2 | 42,0 | 0,7 |
| Total | 47 | | | | |
| CV(%) | | 8,55 | 1,97 | 2,13 | 23,61 |
| Média | | 61,58 | 480,81 | 30,48 | 3,65 |

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

ns – não significativo

Para o parâmetro densidade houve diferença apenas para o fator fazenda, evidenciando que o ambiente altera a densidade das plantas e o fungo não teve qualquer influência neste parâmetro. Houve diferença significativa para o teor de lignina na fonte de variação: fazendas, tipo e na interação entre a fazenda e o tipo de planta, evidenciando que o fungo influenciou na quantidade de lignina presente nas plantas, e este mesmo resultado foi detectado para o teor de extrativos exceto para a interação entre a fazenda e o tipo.

Ao analisar os dados da Tabela 7, observa-se no parâmetro volume que as fazendas Itapoã e Chapadinha apresentaram maior produtividade do que as fazendas Campo Alegre e Vargem Grande. Acredita-se que essa diferença pode estar relacionada à interação entre os fatores nutricionais, condições edafoclimáticas e a presença do fungo.

Tabela 7. Comparações múltiplas por Fazenda – teste *Scott-Knott* para os parâmetros volume ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{ano}$), densidade (kg/m^3), teor de lignina (%) e extrativos (%).

| Fazendas | Volume ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{ano}$) | Densidade (Kg/m^3) | Lignina (%) | Extrativos (%) |
|----------------------|--|--------------------------------------|-------------|----------------|
| Itapoã | 67,75 b | 474,41 b | 30,69 b | 3,62 a |
| Campo Alegre | 55,58 a | 462,25 a | 30,16 a | 3,05 a |
| Chapadinha | 69,41 b | 476,58 b | 31,04 b | 2,85 a |
| Vargem Grande | 53,58 a | 510,00 c | 30,05 a | 5,05 b |

Tratamentos com médias seguidas por mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

No parâmetro densidade, a fazenda Vargem Grande apresentou a maior densidade entre as fazendas, presumindo que, o fator ambiental é mais influente do que a doença, pois a presença do fungo não influenciou a densidade da madeira. O teor de lignina foi maior para as fazendas Itapoã e Chapadinha, isto pode ter ocorrido porque essas fazendas apresentaram maior volume e conseqüentemente aumentou também o teor de lignina e para o teor de extrativos a fazenda Vargem Grande apresentou o maior teor com 5,05% enquanto o menor teor foi encontrado na fazenda Chapadinha 2,85%.

A Tabela 8 apresenta os resultados médios por diagnose (sadia/doente) por parâmetro. Observa-se que houve diferença significativa para todos os parâmetros analisados.

Tabela 8. Comparações múltiplas por Diagnose (sadia/doente) – teste *Scott-Knott* para os parâmetros volume ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{ano}$), densidade (kg/m^3), teor de lignina (%) e extrativos (%) de plantas sadias e doentes por *Ceratocystis fimbriata*.

| Diagnose | Volume ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{ano}$) | Densidade (Kg/m^3) | Lignina (%) | Extrativos (%) |
|---------------|--|--------------------------------------|-------------|----------------|
| Sadia | 68,41 b | 478,50 a | 29,76 a | 2,82 a |
| Doente | 54,75 a | 483,89 a | 31,19 b | 4,47 b |

Tratamentos com médias seguidas por mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

Para o parâmetro volume, as plantas sadias apresentaram 20% a mais de produtividade do que as plantas doentes, esses dados evidenciam que a presença do fungo na madeira acarreta em perda volumétrica e quanto menor o volume, menor a produção de madeira pela mesma unidade de área e conseqüentemente reduz a produção de carvão vegetal,

sendo necessário o plantio de eucalipto em mais área para suprir a demanda energética. Estudos com outras doenças em eucalipto também demonstraram redução na produtividade. Souza (2007) citou que o volume da madeira de árvores de *E. grandis* com cinco anos, foi reduzido em 5,86% e 20,96%, na classe de severidade 2 e 3 do cancro basal conforme descrito por Ferrari e Couto, 1984).

Analisando os dados de densidade da madeira, não houve influência do fungo *C. fimbriata*. Este parâmetro é muito importante para a qualidade do carvão, pois a densidade tem sido citada, por diversos autores, como um dos parâmetros mais importantes em termos da determinação da qualidade deste. Algumas pesquisas apresentam o estudo das correlações entre a densidade do carvão vegetal e a densidade da madeira que o originou, destacando-se os trabalhos de Brito e Barrichelo, (1980). Outros estudos com doenças de eucalipto apresentaram resultados contrários ao que foi relatado anteriormente, como exemplo, cita-se o estudo com o cancro do eucalipto, cujos resultados concluíram que as árvores com cancro basal (níveis 1 e 3) tenderam a apresentar densidade básica mais elevada (SOUZA, 2007).

Os teores de lignina e extrativos também foram influenciados pela presença do fungo *C. fimbriata* na madeira, correspondendo à 4% e 58%, respectivamente. Altos teores de lignina e extrativos foram encontrados em estudos com cancro do eucalipto que elevou o teor de lignina de 27,0% nas árvores sadias, para 29,0% nas árvores doentes em *E. grandis* e o teor de extrativos alterou de 3,4%, para 13,4% (SOUZA, 2007). Dentre esses constituintes, a lignina é o constituinte mais importante na produção de carvão, pois é a que mantém maior influência sobre as características físicas e químicas dos seus derivados energéticos (ANDRADE; CARVALHO, 1998). Quando se carboniza uma madeira rica em lignina, obtém-se um elevado rendimento gravimétrico e carvão com alto teor de carbono. Portanto, quanto maior for o teor de lignina na madeira, maior será o potencial de se alcançar altos teores de carbono fixo e mais altos rendimentos na carbonização. Esse fato está relacionado com a maior resistência à decomposição térmica que a lignina possui, em relação aos demais constituintes estruturais da madeira, como celulose, hemicelulose e extrativos, RAAD (2004) adaptado por SANTOS (2010), conforme figura 14.

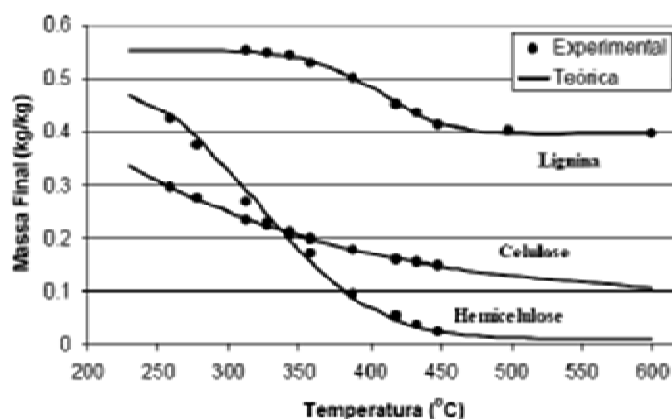


Figura 14. Degradação dos componentes da madeira de acordo com a temperatura.

: Raad (2004) adaptado por Santos (2010)

Entretanto, vale destacar, que o aumento no teor de lignina na madeira está mais associada aos mecanismos de resistência da planta, pois os fungos atuam na decomposição da celulose, como forma de alimento, assim uma redução no teor de celulose aumentará o teor de lignina na madeira. E estudos anatômicos da madeira com o fungo *Ceratocystis fimbriata* em eucalipto evidenciam a ação dos mecanismos de resistência (tilose, espessamento da parede de fibras, lignificação micelial e formação de compostos fenólicos na contenção da infecção da planta pelo patógeno) conforme Tumura (2011).

Pascholati; Leite. (1950) relacionam que o aumento do teor de lignina, pode estar relacionado com os mecanismos de resistências das plantas, pois a lignina é uma das substâncias mais importantes da parede celular, podendo estar presente na lamela média e nas paredes primária e secundária. A lignificação, a qual pode ocorrer como antecessora da degeneração citoplasmática, em depósitos extracelulares e nas paredes das células, exibe um alto potencial de contribuição na defesa das plantas, podendo interferir no crescimento de patógenos através da modificação química das paredes celulares, tendo como resultado um aumento na resistência das paredes à ação de enzimas degradadoras da mesma, na difusão de toxinas do patógeno para o hospedeiro e de nutrientes e água do hospedeiro para o patógeno.

O alto teor de extrativos na madeira com a presença do fungo está associado aos mecanismos de defesa da planta, pois esses são componentes que não fazem parte da constituição química da parede celular e incluem elevado número de compostos,

como: resinas, açúcares, taninos, ácidos graxos, dentre outros compostos, os quais influem nas propriedades da madeira (PETTERSEN,1984).

Analisando os dados por interação entre fazenda e diagnose sadia e doente (Tabela 9), houve diferença significativa para os parâmetros volume e lignina.

Tabela 9. Comparações múltiplas por Interação (Fazenda*Tipo) – teste *Scott-Knott* para os parâmetros volume (m³/ha/ano), teor de lignina (%) e extrativos (%) de plantas de eucalipto sadias e doentes por *Ceratocystis fimbriata*.

| Fazendas | Tipo | Volume (m ³ /ha/ano) | Lignina (%) | Extrativos (%) |
|---------------|--------|---------------------------------|-------------|----------------|
| Itapoã | sadia | 69,33 a | 29,85 a | 2,88 a |
| | doente | 66,16 a | 31,53 b | 4,36 b |
| Campo Alegre | sadia | 58,83 b | 29,50 a | 1,98 a |
| | doente | 52,33 a | 31,08 b | 4,13 b |
| Chapadinha | sadia | 81,33 b | 30,90 a | 2,40 a |
| | doente | 57,50 a | 31,13 a | 3,31 a |
| Vargem Grande | sadia | 64,16 b | 29,06 b | 4,03 a |
| | doente | 43,00 a | 31,03 a | 6,08 b |

Tratamentos com médias seguidas por mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

No parâmetro volume essa diferença foi detectada para as fazendas Campo Alegre, Chapadinha e Vargem Grande, onde as plantas sadias apresentaram maior produtividade do que as plantas doentes, representando respectivamente, 11%, 29% e 33%, concluindo que o fungo *C. fimbriata* ocasionou maior dano produtivo na fazenda Vargem Grande e o menor dano foi detectado na fazenda Itapoã, onde não houve diferença significativa na produtividade entre as plantas sadias e doentes.

Com relação ao teor de lignina, houve diferença significativa entre as fazendas Itapoã, Campo Alegre e Vargem Grande, onde as plantas doentes apresentaram mais lignina do que as plantas sadias, sendo respectivamente, 5,6%, 5,4 e 6,8%, com esses resultados podemos inferir que a fazenda Vargem Grande obteve a maior alteração no teor de lignina e a fazenda Chapadinha a menor alteração química, já que nesta última não houve diferença significativa.

4.3.2 Processo de Carbonização

Analisando os dados da Tabela 10, observa-se que para os parâmetros produção de carvão e rendimento gravimétrico houve diferença significativa apenas para a fazenda, isto significa que a presença do fungo *C. fimbriata* na madeira não influenciou na produtividade do carvão vegetal produzido e para os parâmetros de qualidade voláteis, cinzas e carbono fixo não houve diferença significativa, indicando que o patógeno não afetou a qualidade do carvão.

Tabela 10. Análise de variância para os parâmetros qualidade do carvão vegetal: produção de carvão (Kg), rendimento gravimétrico (%), voláteis (%), cinzas (%) e carbono fixo (%) de madeiras de eucalipto sadia e doente por fungo *Ceratocystis fimbriata*.

| FV | GL | QM | | | | |
|------------------------------|----|----------------------|------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| | | Produção Carvão (Kg) | Rend. Gravimétrico (%) | Voláteis (%) | Cinzas (%) | Carb. Fixo (%) |
| Repetições (fazendas) | 20 | 1,4 ^{ns} | 62,9 ^{ns} | 30,7 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 18,73 ^{ns} |
| Fazendas (F) | 3 | 3,4* | 370,9* | 27,5 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | 17,40 ^{ns} |
| Diagnose (T) | 1 | 1,6 ^{ns} | 54,2 ^{ns} | 6,8 ^{ns} | 0,70 ^{ns} | 0,24 ^{ns} |
| F x T | 3 | 1,9 ^{ns} | 18,5 ^{ns} | 16,5 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 2,77 ^{ns} |
| Erro | 20 | 0,5 | 38,8 | 17,8 | 0,03 | 7,75 |
| Total | 47 | | | | | |
| CV(%) | | 19,2 | 17,34 | 19,1 | 30,32 | 3,72 |
| Média | | 3,9 | 35,93 | 22,08 | 0,59 | 7,75 |

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

ns – não significativo

A Tabela 11 apresenta os dados por fazenda, observando que a maior produção de carvão vegetal foi obtida na fazenda Itapoã e a menor na fazenda Campo Alegre, consequentemente esses dados se refletiram no rendimento gravimétrico.

Tabela 11. Comparações múltiplas por Fazenda – teste *Scott-Knott* para os parâmetros: produção de carvão (Kg) e rendimento gravimétrico de madeiras de eucalipto sadias e doentes por *Ceratocystis fimbriata*.

| Fazendas | Prod. Carvão (Kg) | Rend. Grav (%) |
|----------------------|-------------------|----------------|
| Itapoã | 4,0 b | 39 b |
| Campo Alegre | 3,0 a | 29 a |
| Chapadinha | 3,9 b | 34 b |
| Vargem Grande | 4,3 b | 41 b |

Tratamentos com médias seguidas por mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

Existem alguns fatores que influenciam o processo de carbonização, tais como: a umidade da madeira, pois a presença de água na madeira representa redução do poder calorífico, em razão da energia necessária para evaporá-la (COTTA, 1996 citando LADEIRA, 1992). Quanto maior o teor de umidade, maior a quantidade de energia necessária para secar a lenha e menor o rendimento gravimétrico. No presente trabalho o teor de umidade da madeira foi em média de 25% para as plantas doentes e 26% para as plantas sadias. Outro fator que afeta o processo é a densidade da madeira, Andrade e Carvalho (1998) estudando oito espécies florestais do Rio de Janeiro, observaram uma correlação positiva e não significativa entre a densidade básica e o rendimento gravimétrico, indicando que amostras de maior densidade produzem maior rendimento em carvão. Observações semelhantes foram relatadas por Vital et al. (1994). Neste trabalho, também os autores observaram que as plantas doentes com maior densidade apresentaram maior rendimento gravimétrico e maior produção de carvão. Deve-se ressaltar que a densidade básica da madeira explica somente 55% do rendimento gravimétrico, não sendo isoladamente considerado um parâmetro único da qualidade da madeira. Um parâmetro que é muito importante no processo de carbonização é o teor de lignina, assim uma biomassa com alto teor de lignina aumenta o rendimento no processo de carbonização. Nos dados deste trabalho, as plantas doentes que apresentaram alto teor de lignina, também apresentaram maior rendimento de carbonização.

A taxa de aquecimento é outro parâmetro que pode afetar a carbonização, pois quanto maior a temperatura final de carbonização menor é a taxa de conversão de carvão vegetal, conseqüência da maior degradação da biomassa e maior liberação de voláteis e gases não condensáveis. Resultados da simulação mostram que o

diâmetro tem forte influência no tempo de secagem e carbonização, sendo este um parâmetro presente em todas as etapas do processo de produção de carvão vegetal (RAAD, 2004). Existem ensaios que mostram a correlação entre taxas de aquecimentos, rendimento gravimétrico e teor de carbono fixo (PINHEIRO et al., 2008).

Nesse estudo, analisando os dados da qualidade do carvão, conclui-se que a presença do fungo *C. fimbriata* não alterou a qualidade do carvão vegetal nos parâmetros teor de voláteis, cinzas e carbono fixo (Tabela 12).

Tabela 12. Médias das análises da qualidade do carvão vegetal em madeiras de eucalipto sadias e doentes por *Ceratocystis fimbriata*.

| Diagnose | Taxa de Aquecimento (°C/min) | Voláteis (%) | Cinzas (%) | Carb. Fixo (%) |
|----------|------------------------------|--------------|------------|----------------|
| Sadia | 0,5°C/min | 22,46 | 0,63 | 76,90 |
| Doente | 0,5°C/min | 21,70 | 0,55 | 76,75 |

Esses parâmetros são de suma importância para o alto forno, pois o teor de voláteis facilita a ignição e combustão (PINHEIRO et al., 2008) e entre os fatores que influenciam os materiais voláteis no carvão são a temperatura de carbonização, taxa de aquecimento e composição química da madeira, podendo influenciar a degradação do carvão no alto forno, ao acarretar mudanças na porosidade e na resistência mecânica (CARMO, 1988). Desses fatores, a temperatura é o principal parâmetro que regula os teores de materiais voláteis e carbono fixo. O teor de carbono fixo é uma das propriedades que determina a qualidade do carvão vegetal destinado à siderurgia, quanto maior esse teor, melhor será a qualidade do carvão, sendo assim, Foelkel (2010) relatou que o carvão final produzido deve ser denso, pouco friável, resistente ao manuseio, com teor de carbono fixo acima de 75%, baixo teor de cinzas (0,24%-1,5%), enxofre e materiais voláteis, assim, o carvão vegetal é considerado um excelente redutor. Assim, concluímos que o fungo *Ceratocystis fimbriata* não afeta a qualidade do carvão vegetal.

4.3.3 Processo Energético

Analisando os dados, de acordo com a Tabela 13 verifica-se que houve diferença significativa somente para a diagnose (sadia ou doente), ou seja, o fungo *Ceratocystis fimbriata* influenciou no poder calorífico do carvão vegetal.

Tabela 13. Análise de variância para o parâmetro poder calorífico (Kcal/Kg) do carvão vegetal de madeiras de eucalipto sadias e doentes por *Ceratocystis fimbriata*.

| Fonte de Variação (FV) | GL | QM |
|------------------------|----------------|----------------------------|
| | | Poder Calorífico (Kgal/Kg) |
| Repetições (fazendas) | 6 | 8407,92 ^{ns} |
| Fazendas (F) | 3 | 34158,72 ^{ns} |
| Diagnose (T) | 1 | 130242,66* |
| F x T | 3 | 37554,33 ^{ns} |
| Erro | 10 | 12917,68 |
| Total | 23 | |
| CV(%) | 1,45 | |
| Média | 7858,75 | |

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

ns – não significativo

Entende-se como poder calorífica a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa da madeira (JARA, 1989). Os dados apresentados na Tabela 14 evidenciam que as plantas sadias apresentaram 2,2% a mais de energia do que as plantas doentes.

Tabela 14. Comparações múltiplas por Tipo (sadia/doente) – teste *Scott-Knott* para o parâmetro poder calorífico do carvão vegetal produzido de madeiras de eucalipto sadia e doentes por *Ceratocystis fimbriata*.

| Diagnose | Poder calorífico (Kgal/Kg) |
|----------|----------------------------|
| Sadia | 7932,41 b |
| Doente | 7785,08 a |

Tratamentos com médias seguidas por mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

A medida do poder calorífico é de extrema importância na avaliação energética de qualquer combustível. Em todo combustível pode-se obter dois tipos de poder calorífico, um chamado de poder calorífico superior e o outro chamado de poder calorífico inferior (TRUGILHO, 2006).

Segundo Cunha et al. (1989), o poder calorífico é influenciado pela umidade da madeira, pois quanto maior o conteúdo de umidade da madeira, menor é o seu poder de combustão, devido ao processo de evaporação da umidade, o qual absorve energia em combustão. Neste trabalho conclui-se que a umidade não influenciou no poder calorífico, pois a média foi de 25% de umidade para as plantas doentes e 26% para as plantas saudas. BROWNING (1963), citado por CUNHA et al. (1989) afirmou que o poder calorífico é mais alto quanto maior o teor de lignina e extrativos, porque os mesmos contêm menos oxigênio que os polissacarídeos presentes na holocelulose (celulose e hemicelulose), mas neste estudo o alto teor de lignina e extrativos encontrados nas plantas doentes não refletiram nos resultados do poder calorífico. Acredita-se que outros fatores tais como: a variação na composição química, dimensões, forma e arranjo dos elementos anatômicos como citado por CUNHA et al. (1989), podem acarretar uma diferenciação nas características energéticas de várias madeiras e apesar desta diferença do poder calorífico entre as plantas saudas e doentes, o carvão produzido possui boa qualidade, pois Foelkel (2010) citou que ao término do processo de carbonização, em que o carvão vegetal possui entre 70 a 85% de carbono fixo, esse combustível possui poder calorífico superior que varia entre 7.200 a 8.100 kcal/kg.

A Tabela 15 apresenta um resumo das análises dos danos ocasionados pelo fungo *Ceratocystis fimbriata* na cadeia produtiva do carvão vegetal. Dentre os processos analisados, o processo silvicultural apresentou os maiores danos, destacando-se o número de plantas mortas, que foi de 14% em média no primeiro ano da doença e o volume (m³/ha/ano), em que as plantas doentes apresentaram uma redução volumétrica de 20% em relação às plantas saudas. O processo de carbonização não foi afetado pela doença e no processo energético as plantas saudas apresentaram 2,2% a mais de energia do que as plantas doentes. Assim concluímos que o processo silvicultural é o setor mais afetado pelo patógeno, pois a mortalidade de plantas e a redução volumétrica irão acarretar no aumento de área para plantio para suprir a demanda energética.

Tabela 15. Comparação dos danos do fungo *Ceratocystis fimbriata* para os processos silvicultural, carbonização e energético.

| Processos | Parâmetros | Sadia | Doente | %Danos | Teste Scott-Knott |
|--------------|---------------------------------|-------|--------|--------|-------------------|
| Silvicultura | Nº plantas mortas | - | - | 14 | * |
| | Volume - m ³ /ha/ano | 69 | 55 | 20,3 | * |
| | Densidade - Kg/m ³ | 478,5 | 483,1 | - | ns |
| | Lignina - % | 29,76 | 31,19 | -4,8 | * |
| | Extrativos - % | 2,82 | 4,47 | -58,5 | * |
| Carbonização | Produção Carvão - Kg | 4,0 | 3,6 | - | ns |
| | Rend. Gravimétrico - % | 37 | 35 | - | ns |
| | Carbono Fixo - % | 76,9 | 76,9 | - | ns |
| | Cinzas - % | 0,63 | 0,55 | - | ns |
| | Voláteis - % | 22,5 | 21,7 | - | ns |
| Energético | Poder calorífico - Kcal/Kg | 7932 | 7758 | 2,2 | ns |

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott

ns: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott

4.4. Quantificação das Perdas

Para os cálculos de perdas ocasionadas pelo fungo *Ceratocystis fimbriata* de forma geral, foram considerados a mortalidade de plantas no primeiro ano de plantio, que foi de 14% de acordo com os dados da fazenda Vargem Grande, município de Bocaiúva, MG, e a redução volumétrica que foi de 20%.

A Tabela 16 apresenta a quantificação das perdas na primeira e segunda rotação da floresta. Na primeira rotação, as árvores (sadia) produziram 1111m³/ha de madeira, considerando que houve uma mortalidade de 14%, a produção passou a ser 955m³/ha, considerando o valor da madeira de R\$ 45,00/m³, o prejuízo causado pelo fungo foi da ordem de R\$ 2.136,20/ha. Além das perdas de mortalidade ocasionadas no primeiro ano da doença, as plantas que sobreviveram e continuaram o seu desenvolvimento mesmo com a presença do fungo, apresentaram 20% na redução da produtividade. Considerando que um plantio sadio apresenta em média uma produtividade de 315m³/ha, reduzindo 20%, o talhão teria uma produtividade de 214m³/ha, considerando o valor de R\$45,00/m³, o prejuízo foi de R\$2.430,00/ha.

Tabela 16. Quantificação das perdas pelo fungo *Ceratocystis fimbriata* em plantios de eucalipto em Minas Gerais.

| 1ª Primícia: 14% de mortalidade | | | | | | Prejuízo Total | |
|---|-------------------|-------------------------|---|-------------------------|---|-------------------------|---------------------|
| Grandeza ha | Nº Plantas | | Produção de madeira (m ³ /ha) | | Custo da Madeira (R\$/m ³) | | |
| | Sadia | Após 14% Mortalidade | Sadia | Após 14% Mortalidade | Sadia | Após 14% Mortalidade | |
| 1 | 1.111 | 955 | 315 | 268 | R\$ 14.175,00 | R\$ 12.038,80 | R\$ 2.136,20 |
| 2ª Primícia: redução de 20% de produtividade | | | | | | | |
| Grandeza ha | Nº Plantas | | Produção de madeira (m ³ /ha) | | Custo da Madeira (R\$/m ³) | | |
| | Sadia | Redução 20% | Sadia | Redução 20% | Sadia | Redução 20% | |
| 1 | 955 | 821 | 268 | 214 | R\$ 12.060,00 | R\$ 9.630,00 | R\$ 2.430,00 |
| 3ª Primícia: condução da 2ª rotação | | | | | | | |
| Grandeza ha | Custo da Floresta | | Produção de madeira (m ³ /ha) | | Diferença | | |
| | Implantação | Condução | Implantação | Condução | Custo da Floresta | Produção de Madeira | |
| 1 | R\$ 7.300,00 | R\$ 3.269,00 | 315 | 284 | R\$ 4.031,00 | 31,00 | R\$ 2.636,00 |

Na segunda rotação, calculou-se a diferença do custo da implantação da floresta e o custo da condução. Considerando que, as florestas da 2ª rotação produzem 10% a menos que as florestas de primeiro ciclo, o prejuízo da segunda rotação é da ordem de R\$ 2.636,00/ha. Portanto, conclui-se que as perdas ocasionadas pelo fungo *Ceratocystis fimbriata* na cadeia energética produtiva é da ordem de R\$ 7.202,20/ha, sendo que a mortalidade de plantas ocasionados no primeiro ano da doença representa 30% do prejuízo, a redução de produtividade 34% e os prejuízos da 2ª rotação 36%.

Considerando que, uma empresa florestal plante 5000ha/ano e que a doença ocorre em 1% da área de plantio, o prejuízo seria de R\$ 350.000,00. Extrapolando essa área para 10 empresas, o prejuízo seria da ordem de R\$3.500.000,00.

Analisando as perdas por fazenda, para os parâmetros: econômico, qualidade e risco, levou-se em consideração a qualidade do carvão que não foi alterada pelo fungo, os prejuízos ocasionados pelo fungo e o risco referente à incidência da doença, conforme descrito na Tabela 17.

Tabela 17. Análise de perdas por fazenda na cadeia energética ocasionadas pelo fungo *Ceratocystis fimbriata* em Minas Gerais.

| Fazendas | Qualidade (Qualidade do carvão) | Econômico (Perda em R\$) | Risco (Incidência da doença) |
|----------------------|---|------------------------------------|--|
| Itapoã | na | R\$ 516,60 | 69 |
| Campo Alegre | na | R\$ 1.247,40 | 24 |
| Chapadinha | na | R\$ 2.923,20 | 71 |
| Vargem Grande | na | R\$ 2.910,90 | 49 |

Legenda: na (não alterado)

Após esta análise, foi elaborada uma escala de notas para classificação das fazendas que apresentam as perdas mais significativas. A escala de notas considerada foi 1 (baixa), 2 (média) e 3 (alta), e a soma dos valores indicam a classificação das fazendas, sendo a maior nota representa a fazenda com as maiores perdas. Assim, os resultados da Tabela 18 mostram que as fazendas Chapadinha e Vargem Grande são os locais onde apresentam os maiores prejuízos ocasionados pelo fungo *Ceratocystis fimbriata*, seguida da fazenda Itapoã e Campo Alegre.

Tabela 18. Classificação das fazendas que apresentam as maiores perdas ocasionadas pelo fungo *Ceratocystis fimbriata*.

| Fazendas | Qualidade (Qualidade do carvão) | Econômico (Perda em R\$) | Risco (Incidência da doença) | Total |
|----------------------|---|------------------------------------|--|--------------|
| Itapoã | 1 | 1 | 3 | 5 - médio |
| Campo Alegre | 1 | 1 | 1 | 3 – baixo |
| Chapadinha | 1 | 2 | 3 | 6 – alto |
| Vargem Grande | 1 | 3 | 2 | 6 – alto |

5. CONCLUSÕES

A doença murcha de *Ceratocystis* apresenta um desenvolvimento lento, mas destrutiva em plantios até 2 anos de idade, as plantas que sobrevivem a infecção do fungo apresentam uma redução de 20% na produtividade. A distribuição espacial agregada proporciona um aumento da doença a partir dos primeiros focos podendo inferir que o processo de propagação clonal, o inseto ou a presença do inóculo no solo podem influenciar na distribuição da doença no campo. Entretanto, esta doença ocasiona perdas significativas na cadeia produtiva do carvão vegetal, sendo que o processo silvicultural é o setor mais impactante, apresentando um prejuízo de R\$ 7.000,00/ha. Apesar de o fungo não alterar a produção e a qualidade do carvão, a redução do nº de plantas e de produtividade acarretará em aumento da área de plantio para suprimir a demanda energética esperada, elevando assim os custos silviculturais e conseqüentemente o custo do carvão.

Portanto, recomenda-se o plantio de materiais genéticos resistentes para as áreas de favorabilidade de ocorrência da doença, principalmente em áreas que apresentam déficit hídrico acentuado e isto pode ser feito a curto e médio prazo utilizando a técnica de inoculação artificial e em longo prazo é válido os esforços na busca de marcadores moleculares eficientes que permitam diagnosticar a doença precocemente.

6. REFERÊNCIAS

ABRAHAM, B. et al. DIVA-GIS approaches for diversity assessment of pod characteristics in black gram (*Vigna mungo* L. Hepper). **Current Science**, Bangalore, v. 98, n. 5, p. 616-619, 2010.

AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 4th. ed. San Diego: Academic Press, 1997.

ALFENAS, A. C. et al. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2004. 442 p.

ALVES, M. C. et al. Geoestatística como metodologia para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colleotrichum* spp. transmitidos por sementes. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, p. 557-563, 2006.

ANDRADE, A. M.; CARVALHO, L. M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 5, n. 1, p. 24-42, jan./dez. 1998.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: Unisinos, 2009. v. 3, 165 p.

ARAÚJO, J. C. P. et al. Influência da madeira com fungo *Ceratocystis fimbriata* no processo de produção de celulose e qualidade da celulose. **O Papel**, São Paulo, v. 68, n. 12, p. 95-105, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **ABCP M6/69**: madeira: solubilidade da madeira em álcool tolueno. São Paulo, 1974.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **ABCP- M10/71**: madeira: teor de lignina. São Paulo, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS. **Agenda estratégica do setor de florestas plantadas**: ano base 2010. Câmara Setorial de Silvicultura. 2010. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF09-BR.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6923**: carvão vegetal: amostragem e preparação da amostra. Rio de Janeiro, 1981. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: carvão vegetal: determinação do poder calorífico: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2012**: ano base 2011. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF10-BR.asp>>. Acesso em: 28 maio 2012.

BAKER, C. J.; HARRINGTON, T. C. *Ceratocystis fimbriata*. Surrey: CABI Publishing, 2004.

BAKER, C. J. et al. Genetic variability and host specialization in the Latin American clade of *Ceratocystis fimbriata*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 93, n. 10, p. 1274-1284, 2003.

BATISTA, D. C. et al. **Seca-da-mangueira, detecção, sintomatologia e controle**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2008. 7 p. (Comunicado Técnico, 138).

BEALL, F. C.; EICHNER, H. W. **Thermal degradation of wood components**: a review of literature. Washington, DC: USDA, 1974. (Report, 130).

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais**: epidemiologia e controle econômico. São Paulo: Agronômica Ceres, 1996. 289 p.

BERGAMIM FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v. 2, 919 p.

BERGAMIN FILHO, A. et al. Análise espacial de epidemias. In: VALE, F. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil, 2004. p. 193-240.

- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional 2009**: ano base 2008. Brasília, DF, 2009. Disponível em:
<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1_BEN_2009_Portugues_-_Inglxs_-_Completo.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2012.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal**. Piracicaba: IPEF, 1977. p. 9-20.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal**: densidade da madeira X densidade do carvão. Piracicaba: IPEF, 1980. p. 101-103.
- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. 2nd. ed. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- CAMARGO, E. C. G. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: **Geoprocessamento em projetos ambientais**. p. 1-36. Disponível em:
<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambientais/5geoest.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2011.
- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 58, p. 1501-1511, 1994.
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley, 1990. 532 p.
- CARMO, J. S. **Propriedades físicas e químicas do carvão vegetal destinado à siderurgia e metalurgia**. 1988. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1988.
- CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Experiências em escala de laboratório para determinar a influência da idade, umidade e temperatura de carbonização sobre propriedades do carvão**. Belo Horizonte: CETEC-SPT-1, 1979. 143 p. Relatório de Projeto.
- CHELLEMI, D. O. et al. Analysis of the spatial pattern of plant pathogens on diseased plants using geostatistics. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 78, p. 221-226, 1988.
- COSTA, M. A.; SILVA, P. S. C.; VALLE, P. W. P. A. **Bioenergia**: cadeira produtiva e co-produtos em Minas Gerais. Belo Horizonte: Pró-Cittá/Sectes, 2009. 125 p.
- COUTO, H. T. Z.; BATISTA, J. L. F.; RODRIGUES, L. C. E. **Mensuração e gerenciamento de pequenas florestas**. Piracicaba, p. 1-37, nov. 1989. Documentos florestais
- COTTA, A. M. G. **Qualidade do carvão vegetal para siderurgia**. 1996. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1996.

CUNHA, M. P. S. C. et al. **Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras.** In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., 1983. São Carlos **Anais...** São Carlos: USP, 1989. v. 2, p. 93-121.

FAGIOLI, A. S. **Geoestatística e sensoriamento remoto na classificação de imagens em áreas cultivadas com citrus.** 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

FERRARI, M. P.; COUTO, H. T. Z. Avaliação de perdas em rendimento de madeiras devido ao cancro do *Eucalyptus* causado por *Chyphonectria cubensis* (Bruner) Hodges. **IPEF**, Piracicaba, v. 27, p. 9-15, 1984.

FERREIRA, F. A. Constatações rápidas de *Ceratocystis fimbriata* na doença Murcha de Ceratocystis em eucalipto, por meio de cortes histopatológicos à mão livre. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 25. p. 372, 2000. Suplemento.

FERREIRA, D. F. **SISVAR.** Software estatístico. Lavras, 2000.

FERREIRA, A. F.; MILANI, D. Avaliação de resistência de clones de eucalipto às infecções naturais de *Cryphonectria cubensis* com nova metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 313-316, 2004.

FERREIRA, F. A.; MILANI, D. **Diagnose visual e controle de doenças abióticas e bióticas do eucalipto no Brasil.** Mogi-Guaçu: International Paper, 2002.

FERREIRA, F. A. et al. Sintomatologia da murcha *Ceratocystis fimbriata* em Eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 155-162, 2006.

FERREIRA, M. A. **Estrutura genética de populações de Ceratocystis fimbriata e padrão espaço-temporal da murcha-de-ceratocystis.** 2009. 118 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

FIRMINO, A. C. **Caracterização de isolados de Ceratocystis sp, avaliação de resistência clonal de eucalipto e sensibilidade deste fungo a diferentes fungicidas.** 2011. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

FOELKEL, C. E. B. Produção de carvão vegetal utilizando madeira de florestas plantadas de eucalipto. Eucalyptus Online Book. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/newspt_abril10.html#quatorze>. Acesso em: 17 mar. 2012.

FOELKEL, C. E. B.; ZVINAKEVICIUS, C.; ANDRADE, J. O. M. Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* afetados por cancro. **O Papel**, São Paulo, v. 3, p. 12, 1976.

FURTADO, E. L. et al. **Doenças do eucalipto e coleta de materiais para análise patológica**. Botucatu: Votorantim Celulose e Papel, 2008. 22 p.

GAMMA DESGN SOFTWARE. GS⁺® - Geostatistics for the Enviromental Sciences. Version 7.0. Michigan, 2004. 1 CD-ROM.

GAO, J.; HOFSTRA, G.; FLETECHER, R. A. Anatomical changes induced by triazoles in wheat seedlings. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, v. 66, p. 1178-1185, 1988.

GARCIA, B. I. L. **Risco climático de ocorrência da requeima da batata na região dos Andes, Venezuela**. 2005. 132 f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

GEIGER, K. Classificação climática de Köppen. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger>. Acesso em: 01 maio 2010.

GEIER, P. W. Management of insect pests. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 11, p. 471-490, 1966.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

GUIMARÃES, L. M. S. et al. *Eucalyptus pellita* como fonte de resistência a *Puccinia psiidi*, *Ceratocystis fimbriata* e *Cylindrocladium*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 10, p. 124-131, 2010.

HIJMANS, R. J. et al. DIVA-GIS V 5.4.0.1. 2005. Disponível em: <www.diva-gis.org/>. Acesso em: 01 maio 2010.

ISSAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistic**. New York: Oxford University Press, 1989.

JARA, E. R. P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. (Comunicação Técnica, 1797)

JESUS JUNIOR, W. C.; POZZA, E. A.; VALE, F. X. R.; AGUILERA, G. M. **Análise temporal de epidemias**, Belo Horizonte: Perfil, 2004. 531 p.

JESUS JUNIOR, W. C.; BASSANEZI, R. B. Análise da dinâmica e estrutura de focos da morte súbita dos citros. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, p. 399-405, 2004.

KLOCK, U. et al. **Química da Madeira**. 3. ed. Curitiba: Ed. UFPR, 2005. 86 p.

LASLETT, G. M. et al. Comparison of several spatial prediction methods for soil pH. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 38, p. 325-341, 1987.

- LEENAERS, H.; OHX, J. P.; BURROUGH, P. A. Comparison of spatial prediction methods for mapping floodplain soil pollution. **Catena**, Amsterdam, v. 17, p. 535-550, 1990.
- LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. ed. São Paulo: Ed. UNESP, 2003. 253 p.
- LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro: UNESP/IGCE, 2002. 19 p.
- LARANJEIRA, F. F.; BERGAMIN FILHO, A; AMORIM, L. Dinâmica e estrutura de focos da clorose variegada dos citros (CVC). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, p. 36-41, 1998.
- LARANJEIRA, F. F. et al. Análise espacial do amarelecimento fatal do dendezeiro como ferramenta para elucidar sua etiologia. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, p. 397-403, 1998.
- LEAL, R. M. et al. Distribuição espacial de Huanglongbing (Greening) em citrus utilizando a geoestatística. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 808-818, 2010.
- LOPES, M. V. et al. Mapas de zonas de risco de epidemias e zoneamento agroclimático para o Cancro Cítrico no Estado de São Paulo. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 34, n. 4, p. 349-353, 2008.
- MARCO JUNIOR, P.; SIQUEIRA, M. F. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1-2, p. 65-76, 2009.
- MASSON, M. **Ferrugem do eucalipto: planejamento evasivo, estimativa de dano e análise da viabilidade do controle químico**. 2009. 174 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, El Paso, v. 58, p. 11246-11266, 1963.
- MEDERICK, F. M.; SACKSTON, W. E. Effects of temperature and duration of dew period on germination of rust urediniospores on corn leaves. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 52, p. 551-7, 1972.
- MIRANDA, L. L. D. et al. Uso da geoestatística na distribuição espacial de *Mahanarva fimbriola* em cana de açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 449-455, 2007.
- MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto**. São Paulo: Verso e Reverso Comunicações, 2000. 114 p.

- MORGAN-JONES, G. *Ceratocystis fimbriata*. CMI. **Descriptions of pathogenic fungi and bacteria**. Kew: Commonwealth Mycological Institute, n. 141. 1967. 2 p.
- MOLLER, W. J.; DEVAY, J. E. Carrot as a species-selective isolation medium for *Ceratocystis fimbriata*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 58, p. 123-126, 1968.
- NELSON, S. C. A simple analysis of disease foci. **Phytopatology**, Saint Paul, v. 86, p. 332-339, 1996.
- NEWCOMBE, G. B.; BRADSHAW, H. D. Quantitative trait loci conferring resistance in hybrid poplar to *Septoria populicola*, the cause of leaf spot. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 26, p. 1943, 1996.
- NUNES, W. M. de C. et al. Dinâmica espacial de foco da clorose variegada dos citros (CVC) avaliada por meio da sintomatologia e serologia. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1215-1219, 2001.
- NUTTER, F. W.; TENG, P. S.; SHOKES, F. M. Disease assesment terms and concepts. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 75, p. 1187-1188, 1991.
- OLIVEIRA, E. **Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden)**. 1988. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1988.
- OLIVEIRA, J. B.; MENDES, M. G.; GOMES, P. A. Carbonização da madeira, modelo físico e influência das variáveis de processo. **Boletim da Associação Brasileira de Metais**, São Paulo, v. 40, n. 319, p. 315-319, jun. 1984.
- PASCHOLATI, S. F.; LEITE, B. Hospedeiro: mecanismos de resistência. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 3. ed. São Paulo: Ceres, 1995. v. 1, p. 417-452.
- PRADO, T. A. **Metodologia para o zoneamento de risco climático de ocorrência de queima do tomateiro**. 2006. 53f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.
- PETTERSEN, R. C. The chemical composition of wood. In: ROWELL, R. (Ed.). **The chemistry of solid wood**. Washington, DC: American Chemical Society, 1984. p. 54-126.
- PINHEIRO, P. C. C.; SAMPAIO, R. S.; REZENDE, M. E. A. **A produção de carvão vegetal: teoria e prática**. 2. ed. Belo Horizonte: O Autor, 2008. 120 p.
- POLLEFEYS, P.; SHARROCK, S.; ARNAUD, E. **Preliminary analysis of the literature on the distribution of wild *Musa* species using MGIS and DIVA-GIS**. Montpellier: INIBAP-IPGRI, 2004.

RAAD, T. J. **Drying process simulation and Eucalyptus ssp carbonization**. 2004. 114 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

RIBEIRO, I. J. A. Doenças da mangueira (*Mangifera indica* L.). In: KIMATI, H. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997. v. 2, p. 511-524.

ROSSETTO, C. J.; RIBEIRO, I. J. A.; IGUE, T. III. Comportamento de variedades de mangueira, espécies de coleobrocas e comportamento de *Hypocryphalus mangiferae*. **Circular do Instituto Agrônomo**, Campinas, v. 106, 1980. 44 p.

SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. 1996. 91 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

SILVA, A. F. **Geoestatística e sensoriamento remoto na classificação de imagens em áreas cultivadas com citros**. 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

SANTOS, R. C. **Parâmetros da qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SANTOS, A. F. et al. **Aplicação da geoestatística em ciências agrárias**. Botucatu: FEPAF, 2011.

SHABANIMOFRAD, M. et al. Diversity of physic nut (*Jatropha curcas*) in Malaysia: application of DIVA-geographic information system and cluster analysis. **Australian Journal of Crop Science**, Victoria, v. 5, n. 4, p. 361-368, 2011.

SHATFIZADEH, F.; GROOT, F. W. de. **Thermal uses and properties of carbohydrates and lignin**. London: Academic Press, 1976. p. 1-15.

SILVA, A. F. **Geoestatística e sensoriamento remoto na classificação de imagens em áreas cultivadas com citros**. 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

SILVA, E. A. et al. Perspectivas no manejo e controle localizado de doenças das culturas: uma abordagem no manejo do nematóide de cisto da soja. In: BORÉM, A. et al. (Ed.). **Agricultura de precisão**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2000. p. 409-453.

SILVA, S. D. V. M.; PAIM, M. C.; CASTRO, W. M. Cacau “Jaca” resistente a *Ceratocystis fimbriata* na região cacauzeira da Bahia, Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, p. 538-540, 2004.

SOUZA, S. E. **Dinâmica espaço temporal e danos do cancro basal em *Eucalyptus grandis***. 2007. 174 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. **TAPPI 204-05-76**: solvent extractives of wood and pulp. Atlanta, 1976. 6 p.

TAPPI. TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Normas técnicas. Atlanta, 1999. Preparation of wood for Chemical Analysis, Norma TAPPI T 12 wd-82. Acid-Insoluble Lignin in Wood and Pulp, Norma TAPPI T 222 om-98. Kappa Number of Pulp, Norma TAPPI T 236 cm-85.

TENG, P. S.; JOHNSON, K. B. Analysis of epidemiological components in yield loss assesment. In: KRANZ, J.; ROTEM, J. (Ed.). **Experimental techniques in plant disease epidemiology**. New York: Springer-Verlag, 1988. p. 179-189.

TRAGMAR, B. B. et al. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, p. 45-94, 1985.

TRUGILHO, P. F. **Carbonização da madeira e controle da qualidade do carvão vegetal**. Lavras: Ed. UFLA, 2006. 41 p.

VALE, A. T.; NOGUEIRA, M. Carbonização de madeiras do Cerrado e análise do carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 25, p. 271-276, 2001.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIN, L. Influência da temperatura e da umidade nas epidemias de doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Viçosa, MG, v. 4, p. 149-207, 1996.

VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**, Belo Horizonte: Perfil, 2004. 531 p.

VALENTE, A. F. Carbonização de madeira de eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 141, p. 74-79, 1986.

VANDERPLANK, J. E. **Plant diseases: epidemics and control**. New York: Academic Press, 1963. 349 p.

VIEGAS, A. P. Seca da mangueira. **Bragantia**, Campinas, v. 19, p. 163-182, 1960.

- VIEIRA, R. S. **Propriedades mecânicas da madeira de clones de *Eucalyptus* e do carvão produzido entre 350°C e 900°C**. 2009. 80 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- VIQUE, B. et al. Progresso da murcha-de-ceratocystis em talhão clonal de híbrido de *Eucalyptus urophylla*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, p. 224, 2007. Suplemento.
- VITAL, B. R. et al. Características de crescimento das árvores e de qualidade da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* para a produção de carvão. **IPEF**, Piracicaba, n. 47, p. 22-28, 1994.
- WALKER, P. T. Crop losses: the need to quantify the effects of pests, diseases and weeds on agricultural production. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 9, p. 119-58, 1983.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLED, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.
- XAVIER, A. A. et al. Infection of resistant and susceptible *Eucalyptus grandis* genotypes by urediniospores of *Puccinia psidii*. **Australasian Plant Pathology Society**, Toowoomba East, v. 30, p. 277-281, 2001.
- ZAMBOLIM, L. et al. Controle de doenças em pós-colheita de frutas tropicais. In: _____. **Manejo integrado de doenças e pragas de fruteiras tropicais**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2002. cap. 12, v. 2, p. 443-500.
- ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.