

Incidência da ferrugem do eucalipto (*Austropuccinia psidii*) em sistema agroflorestal

João Paulo Agápto¹, Fernando Silveira Franco², Iuri Emmanuel de Paula Ferreira¹, Waldir Cintra de Jesus Junior¹

¹Universidade Federal de São Carlos, CCN - Centro de Ciências da Natureza, Departamento Acadêmico Lagoa do Sino - Rodovia Lauri Simões de Barros (SP-189), km 12, Aracaçu - CEP: 18.290-000 - Buri - SP - Brasil; ²Universidade Federal de São Carlos, CCTS - Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade, Departamento de Ciências Ambientais - Rodovia João Leme dos Santos (SP-264), Km 110, Bairro do Itinga - CEP: 18.052-780 - Sorocaba - São Paulo - Brasil.

Autor correspondente: João Paulo Agápto (jpagapto@ufscar.br)

Data da submissão: 03/04/2021 Aceito para publicação em: 30/06/2022

10.1590/0100-5405/250652

RESUMO

Agápto, J.P.; Franco, F.S.; Ferreira, I.E.P.; Jesus Junior, W.C. Incidência da ferrugem do eucalipto (*Austropuccinia psidii*) em sistema agroflorestal. *Summa Phytopathologica*, v.48, n.2, p.61-68, 2022.

Considerada uma das principais doenças do eucalipto, a ferrugem (*Austropuccinia psidii*) pode ocasionar sérios danos à cultura caso estratégias adequadas de manejo não sejam implantadas. De modo geral tem-se monocultura de eucalipto, com implicações epidemiológicas importantes. O objetivo desse estudo foi comparar o progresso da ferrugem do eucalipto consorciado com diferentes espécies em sistema agroflorestal, sob condições naturais de infecção. O experimento foi composto por três tratamentos (consórcios), dispostos de forma completamente aleatorizada no espaço. Em cada tratamento o eucalipto foi plantado com duas espécies diferentes, a saber: T1 - Cedro Australiano (*Toona ciliata*) + Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) + Banana (*Musa acuminata*); T2 - consórcio Amora (*Morus celtidifolia*) + Eucalipto + Pupunha (*Bactris gasipaes*), e T3 - Mogno Africano (*Khaya ivorensis*)

+ Eucalipto + Banana. Cada tratamento foi composto por seis repetições, totalizando 18 parcelas de 9m² cada (2m x 4,5m), dispostos em linhas/aleia. Foram avaliadas altura, diâmetro da planta, incidência e severidade da doença, quinzenalmente. Os dados foram coletados em dois momentos distintos: pré-poda, compreendido de 17/08/2018 à 09/01/2019, e pós-poda, realizado de 17/04/2019 à 13/08/2019. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05). Verificou-se que o eucalipto apresentou maior desenvolvimento (altura e diâmetro) e menor intensidade da doença (incidência e severidade) no tratamento T2. Com base nos resultados, conclui-se que o plantio de eucalipto em consórcio com as espécies Amora + Eucalipto + Pupunha proporcionou menor intensidade da ferrugem e maior desenvolvimento das plantas.

Palavras-chave: Ferrugem do eucalipto, Arranjos Agroflorestais, Consórcio de espécies

ABSTRACT

Agápto, J.P.; Franco, F.S.; Ferreira, I.E.P.; Jesus Junior, W.C. Incidence of eucalyptus rust (*Austropuccinia psidii*) in agroforestry system. *Summa Phytopathologica*, v.48, n.2, p.61-68, 2022.

Rust (*Austropuccinia psidii*), considered one of the major eucalyptus diseases, can cause serious damage to the crop in case adequate management strategies are not implemented. In general, there is eucalyptus monoculture, for which epidemiological implications are important. The aim of this study was to compare rust progress in eucalyptus intercropped with different species, in agroforestry system, under natural infection conditions. The experiment consisted of three treatments (consortia), in completely randomized arrangement in space. In each treatment eucalyptus was planted with two different species, namely: T1 - Australian Cedar (*Toona ciliata*) + Eucalyptus (*Eucalyptus urograndis*) + Banana (*Musa acuminata*); T2 - consortium "Amora" (*Morus celtidifolia*) + Eucalyptus + "Pupunha" (*Bactris gasipaes*), and T3 - African

Mahogany (*Khaya ivorensis*) + Eucalyptus + Banana. Each treatment had six replicates, totaling 18 plots of 9 m² each (2 m x 4.5 m), arranged in lines/alleys. Plant height and diameter, and disease incidence and severity were analyzed every fifteen days. Data were collected in two different moments: pre-pruning, from 08/17/2018 to 09/01/2019, and post-pruning, from 04/17/2019 to 08/13/2019. The data underwent analysis of variance and means were compared according to Tukey's test (p<0.05). Eucalyptus presented better development (height and diameter) and lower disease intensity (incidence and severity) in treatment T2. The results lead to the conclusion that planting eucalyptus in the consortium Amora + Eucalyptus + Pupunha provided reduced rust intensity and greater plant development.

Keywords: Eucalyptus rust, Agroforestry arrangements, Species consortium.

Devido sua alta adaptabilidade às condições de clima e solo no Brasil, rapidamente o eucalipto conquistou espaços em áreas de grandes empresas produtoras de madeira sob o modelo monocultural (38). Contudo, o plantio do eucalipto em pequenas propriedades rurais tornou-se prática comum devido seu bom desenvolvimento e versatilidade de usos, aumentando assim a diversidade da produção.

Apesar do eucalipto ser considerado rústico, inúmeros problemas podem comprometer sua produção e produtividade, como por exemplo, as doenças. Dentre as doenças, a ferrugem (*Austropuccinia psidii*) é uma das mais importantes, podendo causar danos da ordem de até 70% caso estratégias adequadas de manejo não sejam implementadas (5, 8, 10, 12, 21).

Essa doença traz sérios prejuízos à planta ocasionando

danos em qualidade e quantidade, sobretudo nos primeiros dois anos de plantio. A ferrugem está presente em todas as regiões brasileiras, mas principalmente nas regiões que apresentam condições ambientais favoráveis ao patógeno com relação à umidade relativamente alta e temperatura amena (31, 39).

Atualmente é considerada uma das mais importantes doenças para a eucaliptocultura no país, em função do grave prejuízo que pode ocasionar, sendo apontada como uma das mais severas doenças do eucalipto no Brasil (1, 6, 18, 23, 33, 34).

De acordo com Jesus Junior (17) o conhecimento epidemiológico das interações patógeno, hospedeiro e ambiente é de suma importância para o manejo das doenças das plantas. Portanto, conhecer e identificar os fatores que influenciam o desenvolvimento das doenças é condição primordial para se obter êxito na execução das estratégias de manejo.

Até o momento ainda não se encontram na literatura disponibilidade de estudos e pesquisas sobre o comportamento da ferrugem do eucalipto em sistema agroflorestal, até mesmo em outros sistemas mais biodiversos como os de Integração Lavoura, Pecuária e Floresta. Nota-se que o estudo da ferrugem do eucalipto nesses sistemas encontra-se ainda em estágio incipiente, carecendo, portanto, de mais pesquisas com essa finalidade.

Desse modo, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito de diferentes consórcios entre espécies na epidemiologia da ferrugem do eucalipto dentro de um Sistema Agroflorestal (SAF), de modo a fornecer informações acerca de qual combinação entre espécies pode contribuir para com o manejo da doença em plantios de eucalipto em Sistema Agroflorestal.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no *campus* Lagoa do Sino da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, município de Buri, SP, latitude: 23°36'4.65"S, longitude: 48°31'25.53"O e altitude: 637m, em área experimental de 1,2 hectares. O clima da região é classificado como do tipo "Cwa", conforme classificação climática de Köppen, caracterizado por inverno seco com temperaturas inferiores a 18°C e verão quente com temperaturas superiores a 22°C, e precipitação total anual média de 1.300 mm. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa, álico, relevo suave ondulado (29).

Delineamento Experimental

O experimento foi composto por três tratamentos (consórcios), dispostos de forma aleatorizada no espaço. Em cada tratamento o eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) clone 2361/TP361, foi plantado entre duas espécies diferentes, a saber: T1 - Cedro Australiano (*Toona ciliata*) + Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) + Banana (*Musa acuminata*); T2 - consórcio Amora (*Morus celtidifolia*) + Eucalipto + Pupunha (*Bactris gasipaes*), e T3 - Mogno Africano (*Khaya ivorensis*) + Eucalipto + Banana. Sendo que todas as mudas utilizadas possuíam média de 0,40m de altura no ato do plantio, com exceção das mudas de bananeira que possuíam média de 1,50m,

Cada tratamento foi composto por seis repetições, totalizando 18 parcelas de 9m² cada (2m x 4,5m), dispostos em linhas/aleia possuindo espaçamento de 10m entre linhas, em condições

naturais de infecção. Vale ressaltar que através do histórico da área tem-se informação de que a doença sempre está presente na região, uma vez que é tradicional região produtora de eucalipto. Além disso, a fazenda onde foi desenvolvido o experimento tem próximo a área experimental plantas adultas de eucalipto.

As variáveis analisadas foram: a) altura total da planta; b) diâmetro da planta a 0,20m e 1,30m; c) incidência da ferrugem; e d) severidade da doença. As avaliações a campo foram realizadas quinzenalmente em dois momentos distintos (em pré-poda e pós-poda) durante o período de agosto de 2018 a agosto de 2019.

Os dados coletados entre a 1ª e a 10ª avaliações, realizadas no período de 17/08/2018 a 09/01/2019 foram considerados pré-poda, enquanto que o período de 17/04/2019 a 13/08/2019, contemplando da 11ª até a 18ª avaliações foi definido como pós-poda.

As determinações da altura total das plantas e do diâmetro das plantas foram realizadas com o auxílio de régua de alumínio graduada e fita métrica, respectivamente, nas 6 plantas de cada tratamento.

Para quantificação da severidade da doença empregou-se escala diagramática específica (20), baseada em dano percentual de área foliar lesionada, sendo a avaliação realizada sempre no sétimo e oitavo ramos do terço superior de cada uma das 6 plantas, em cada tratamento. Adotou-se esta metodologia de avaliação em função da ocorrência da doença ser maior nos ramos e folhas jovens, sendo os ramos e tecidos mais velhos necrosados quando do estágio tardio de alta severidade da doença, passíveis de comprometimento dos resultados (21).

A quantificação da incidência de folhas doentes nos tratamentos foi realizada em todas as folhas do sétimo e oitavo ramos do terço superior da planta, sendo calculada através de (número de folhas doentes / número total de folhas) x 100.

Com os dados quinzenais de incidência e severidade da doença nos tratamentos, plotou-se as curvas de progresso da ferrugem e determinou-se a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) pelo método de integração trapezoidal (32).

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variáveis de crescimento

O crescimento das plantas foi avaliado desde o início da implantação do experimento, de modo que a determinação do diâmetro da planta a 0,20m, como explicado anteriormente, ocorreu antes das plantas atingirem a medida padrão denominada "diâmetro a altura do peito (DAP)", que ocorre a 1,30m acima do nível do solo.

Altura total da planta

Com base nos resultados verifica-se que no tratamento T2 as plantas de eucalipto apresentaram maior altura total (Tabela 1). É possível inferir que a diferença observada de altura de T2 para os demais tratamentos tenha ocorrido em função da capacidade de interceptação da radiação solar e seu efeito fotossintético sobre a planta que possuía dossel dominante no consórcio composto por Amora + Eucalipto + Pupunha.

Tabela 1. Médias marginais (com erros-padrão) dos tratamentos para as variáveis altura e diâmetro da planta a 0,20m determinadas nas avaliações pré-poda.

Tratamentos*	Altura**	Diâmetro planta (0,20m)
T1*	1,49 ± 0,21 b	2,13 ± 0,30 b
T2	3,20 ± 0,21 a	4,53 ± 0,30 a
T3	1,35 ± 0,21 b	1,99 ± 0,30 b

* Tratamentos: T1 - Cedro Australiano (*T. ciliata*) + Eucalipto (*E. urograndis*) + Banana (*M. acuminata*); T2 - consórcio Amora (*M. celtidifolia*) + Eucalipto + Pupunha (*B. gasipaes*), e T3 - Mogno Africano (*K. ivorensis*) + Eucalipto + Banana.

** Letras diferentes (a,b) indicam médias estatisticamente distintas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Em teoria a diferença de altura do eucalipto de T2 para os demais tratamentos pode ser explicada pelo fato da pupunha ser uma planta de crescimento relativamente lento em comparação ao híbrido *E. urograndis*. Outro fator importante que fez parte de T2 é que a terceira espécie que compôs esse tratamento foi a amora, e nesse caso, a amora foi plantada por meio de estaquia, sendo que, as estacas utilizadas possuíam em média o tamanho de 0,25m. Desse modo, demorou para que a amora se desenvolvesse a ponto de poder crescer e sombrear o eucalipto, o que poderia portanto equilibrar a competição por luz nesse tratamento.

De acordo com (28) a produtividade de um plantio florestal depende muito do tamanho do dossel das árvores, porque determina os padrões de interceptação da radiação solar e influencia fortemente as interações entre as plantas e o ambiente. Os autores afirmam ainda que a maioria das características das árvores de eucalipto, como altura e biomassa total, são fortemente afetadas pela irradiância disponível.

Nesse sentido, Caron *et al.* (7) afirmam que a eficiência de conversão da radiação solar em fitomassa é uma variável frequentemente utilizada em modelos de simulação do crescimento das culturas, pois a produção de biomassa está relacionada com a eficiência que uma planta converte energia radiante em química, dada ao processo da fotossíntese.

Righi *et al.* (27) ao analisarem efeito do sombreamento em florestas de eucalipto (*E. camaldulensis*) puderam constatar que as plantas responderam positivamente ao aumento da irradiação incrementando o tamanho do dossel e a área foliar total, mantendo sua proporcionalidade ao longo do transecto.

De modo geral o crescimento das árvores em um ecossistema florestal é estabelecido por variáveis ambientais inerentes ao local em que estão crescendo, sobretudo pelas características climáticas locais e pela disponibilidade de água e nutrientes do solo. Contudo, o comportamento de crescimento individual de árvores em relação umas às outras é determinado principalmente pela competição entre as árvores pela luz, um processo assimétrico, heterogêneo, que influencia o crescimento e a sobrevivência das plantas e as interações competitivas na comunidade (14, 37, 38).

Millner & Kemp (22), ao pesquisarem o efeito da radiação solar no crescimento sazonal de altura e diâmetro de 12 espécies de eucalipto na região montanhosa da Nova Zelândia, concluíram que as árvores que se situavam na face ensolarada

obtiveram melhores índices de crescimento em relação às árvores que estavam na face sombreada pelos morros. Os autores verificaram ainda que o crescimento em altura e diâmetro apresentou diferenças conforme as estações do ano e foi impulsionado em grande parte pela quantidade de radiação solar diária recebida. Tais autores ressaltaram que o crescimento das árvores está linearmente relacionado à quantidade de radiação solar interceptada pelo dossel.

Diâmetro da planta a 0,20m

À variável diâmetro da planta a 0,20m apresentou o mesmo padrão de resposta da variável altura da planta, em que o tratamento 2 apresentou valores estatisticamente diferentes e maiores de diâmetro da planta 0,20m em todas as avaliações ($p \leq 0,05$), enquanto os tratamentos T1 e T3 não diferiram entre si (Tabela 1).

Partindo do mesmo pressuposto ora discutido na variável altura, considera-se que o fator radiação solar interceptada pode ter feito com que o eucalipto no tratamento 2 se diferenciasse dos demais. Uma vez que, em T1 e T3 as plantas do consórcio apresentaram desde o início do experimento alturas semelhantes a do eucalipto, como foi o caso do mogno africano, tanto quanto, superior ao eucalipto como o cedro australiano e mais especificamente a banana, que por sinal fez parte de T1 e T3 menos de T2. É importante ressaltar ainda que todas as mudas possuíam média de 0,40m de altura no ato do plantio, contudo as mudas de bananeira possuíam média de 1,50m, sendo esse, um fator que pode ter influenciado fortemente a questão do sombreamento do eucalipto nos tratamentos menos em T2. Tal fator está condicionado muito em função da organografia das folhas da bananeira, ou seja, sua morfologia externa. Logo, sendo essa, capaz de sombrear as demais plantas abaixo de seu dossel.

Segundo Martins *et al.* (19) árvores que não estão sob o efeito de sombreamento, e que recebem grande quantidade de luz em toda a extensão vertical da copa, desenvolvem ramos vigorosos desde a parte inferior do caule. Devido à maior quantidade de ramos vigorosos, as árvores isoladas, geralmente, desenvolvem maior diâmetro do tronco próximo ao solo, com rápido afinamento em direção ao topo, resultando em toras de concidade acentuada.

De acordo com Binkley *et al.* (3) ocorrem diferentes variações no crescimento de indivíduos de uma floresta em função da capacidade que determinada planta possui de interceptar a luz, assim como, sua respectiva eficiência de uso no processo de crescimento. Os referidos autores, ao conduzirem experimento em florestas de eucaliptos em diferentes regiões do Brasil, constataram que as árvores dominantes apresentaram taxas mais altas de crescimento de tronco (quatro vezes mais), em comparação as árvores subordinadas.

Quando uma planta é rodeada por outras, a quantidade de luz disponível que chega às folhas pode se tornar limitante, dando início a ocorrência do processo de competição pela luz. Em consequência disto, o crescimento de caules e folhas pode ser severamente limitado se a concorrência chegar ao ponto em que uma planta é completamente sombreada por seus vizinhos (15).

Pereira *et al.* (24) ao realizarem avaliação do efeito do componente arbóreo sobre forrageiras em sistemas silvipastoris na mesorregião dos Campos das Vertentes no estado de Minas Gerais utilizaram como tratamento três espaçamentos

diferentes (3x2, 6x4 e 10x4m) de *E. urophylla*. Os pesquisadores verificaram que os maiores valores de DAP ocorreram nos espaçamentos 6x4 e 10x4m, respectivamente, sendo que, no espaçamento de 3x2 foi obtido o menor valor. Os autores consideram que tal resultado seja devido a maior competição entre as plantas neste espaçamento, limitando o crescimento individual.

Incidência da doença

Com base nos resultados verifica-se que a incidência da ferrugem diferiu significativamente entre os tratamentos pelo teste de Tukey (Tabela 2, $P < 0.05$) nas avaliações 3, 4, 5 e 6. O tratamento 2 apresentou o menor valor de AACPD, sendo que T1 e T3 não diferiram estatisticamente entre si.

Tabela 2. Médias marginais (com erros-padrão) dos tratamentos para área abaixo da curva de progresso (AACPD) da incidência e severidade da ferrugem do eucalipto (*Austropuccinia psidii*) determinadas nas avaliações pré-poda.

Tratamentos*	AACPD	AACPD
	Incidência**	Severidade
T1	75,2 ± 3,24 a	16,70 ± 0,79 ab
T2	58,3 ± 2,95 b	14,50 ± 0,72 a
T3	74,5 ± 3,24 a	17,20 ± 0,79 b

* Tratamentos: T1 - Cedro Australiano (*T. ciliata*) + Eucalipto (*E. urograndis*) + Banana (*M. acuminata*); T2 - consórcio Amora (*M. celtidifolia*) + Eucalipto + Pupunha (*B. gasipaes*), e T3 - Mogno Africano (*K. ivorensis*) + Eucalipto + Banana.

** Letras diferentes (a,b) indicam médias estatisticamente distintas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Ao analisar o comportamento geral da incidência no pré-poda (Figura 1) percebe-se que o início das avaliações ocorre no final dos meses de inverno (agosto/setembro), que de acordo com a classificação climática de Köppen, para a região em questão, possui inverno seco com temperaturas inferiores a 18°C. Tais condições climáticas não são consideradas favoráveis ao desenvolvimento do agente causal da ferrugem (2, 6, 23, 30).

Verifica-se que até as duas primeiras avaliações o maior valor de incidência da ferrugem era inferior a 18%, sendo que a partir da terceira avaliação há expressivo aumento, atingindo entre a quarta e sexta avaliações o valor máximo de 94%. A partir da sétima avaliação até o final do pré-poda ocorre considerável redução da incidência da doença.

Observa-se que as avaliações 4, 5 e 6 ocorrem nos meses de outubro/novembro e se encontram dentro da estação da primavera, que para a região do estudo, é a época em que começam as primeiras chuvas regulares pós-inverno e, por conseguinte aumento da temperatura. Como mencionado anteriormente tais condições são consideradas favoráveis para o desenvolvimento do patógeno.

O *A. psidii* necessita de umidade sobre as folhas e brotações, em condições noturnas, para que os urediniosporos germinem e penetrem na planta hospedeira. A umidade favorece a germinação e penetração do patógeno, sendo necessário um curto período de condição favorável, independentemente da luminosidade (13, 35).

Os resultados encontrados nesse estudo corroboram os obtidos por Pieroni *et al.* (26) que ao quantificarem a ferrugem do eucalipto em condições naturais de infecção e com inoculação controlada verificaram que em condições de campo os meses de outubro e novembro foram os meses mais favoráveis para o desenvolvimento do patógeno e da doença.

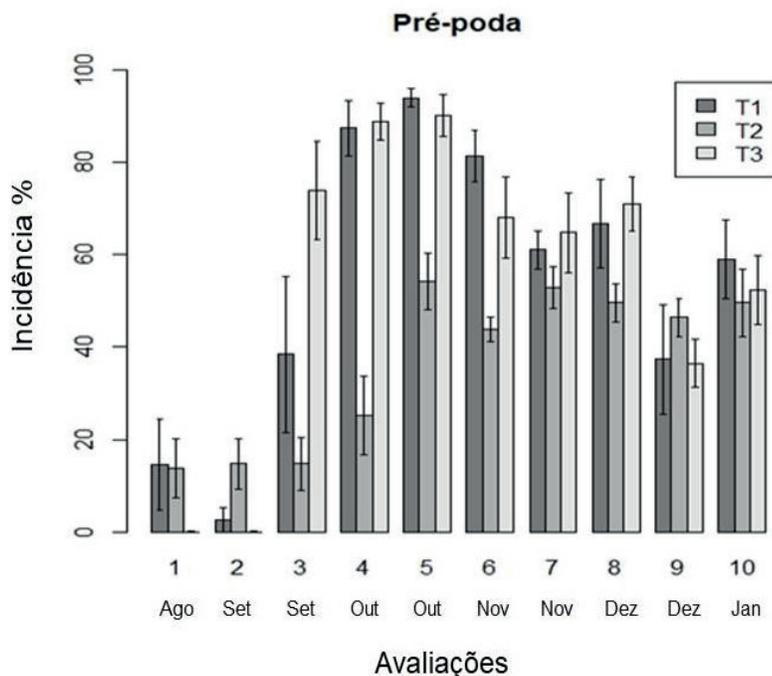


Figura 1. Incidência (%) da ferrugem do eucalipto (*Austropuccinia psidii*) em função do tempo (meses) e do tratamento (T1 - Cedro Australiano (*T. ciliata*) + Eucalipto (*E. urograndis*) + Banana (*M. acuminata*); T2 - consórcio Amora (*M. celtidifolia*) + Eucalipto + Pupunha (*B. gasipaes*), e T3 - Mogno Africano (*K. ivorensis*) + Eucalipto + Banana), em pré-poda. Média e erro-padrão (n=16).

Adicionalmente, os resultados obtidos nesta pesquisa são corroborados por Bora *et al.* (6) que ao elaborarem extenso trabalho de zoneamento da favorabilidade climática para a ferrugem do eucalipto no estado do Paraná constataram que as estações do ano mais favoráveis à ocorrência da doença foram a primavera e o verão e a menos favorável foi o inverno.

Severidade da doença

A severidade da doença foi baixa no início das avaliações em todos os tratamentos onde foram detectados os primeiros sinais, entretanto a partir do mês de outubro (quarta avaliação), verifica-se aumento da severidade nos tratamentos 1 e 3. No tratamento T2 a severidade da ferrugem se mantém próximo aos valores iniciais (Figura 2).

Com base na curva de progresso da doença observa-se que os tratamentos T2 e T3 diferem entre si, enquanto T1 apresenta resultado intermediário de AACPD, não diferindo dos demais tratamentos pelo teste de Tukey (Tabela 2, $P < 0,05$).

O comportamento da severidade da doença observado no estudo (Figura 2) é muito semelhante ao da incidência onde se registraram níveis inicialmente baixos, mas que, ao iniciar o período chuvoso concomitantemente com a mudança de temperatura de inverno para primavera propiciou um ambiente de favorabilidade climática para o desenvolvimento do patógeno, demonstrando assim a influência do período estacional do ano sobre a dinâmica do *A. psidii*.

Deste modo, como lembram Jesus Junior *et al.* (17) o desenvolvimento de doenças em plantas está relacionado a três fatores: patógeno, hospedeiro e ambiente. Possuindo todos esses três fatores características fundamentais no desenvolvimento das epidemias, porém, o ambiente exerce papel predominante sobre os demais, uma vez que também os influencia.

Sendo assim, a menor severidade verificada no tratamento 2 (Tabela 2) pode estar indicando que o eucalipto se desenvolveu em um ambiente com mais acesso a radiação solar e favorecido também por maior ventilação em função do seu dossel superior às plantas que estavam ao lado no consórcio (amora e pupunha).

Situação semelhante a esta foi relatada por Pieri (25) que ao conduzir experimento com eucalipto solteiro e consorciado com (*Acacia mangium*) contendo plantas com e sem adubação, verificaram que as plantas adubadas apresentaram dossel mais alto e por isso receberam maior ventilação, não tornando o ambiente favorável ao desenvolvimento da doença.

A partir da quarta avaliação houve aumento expressivo da severidade da doença em relação às medições anteriores, sobretudo em T1 e T3, o que pode estar relacionado ao aumento da umidade relativa do ambiente decorrente das chuvas nesse período.

De acordo com Huber & Gillespie (16) também citado por Pieri (25), fatores meteorológicos são considerados ferramentas importantes para o estudo epidemiológico de fitopatógenos. As variáveis temperatura e umidade têm grande efeito sobre o ciclo de vida dos patógenos fúngicos, como germinação, penetração, colonização, esporulação e dispersão do inóculo.

Nesse sentido, Ruiz *et al.* (30) e Bora *et al.* (6) argumentam que os índices de infecção variam com a temperatura e duração do período de molhamento foliar (DPMF), sendo que a maior favorabilidade à doença ocorre com temperaturas entre 18 a 25°C e DPMF a partir de 4h, com umidade relativa do ar igual ou acima de 90%.

Já Blum & Dianese (4) argumentam que valores de umidade relativa do ar igual ou superior a 80% favorecem a liberação de urediniosporos e o desenvolvimento da ferrugem no Jambeiro (*Syzygium jambos*). Contudo, Aparecido (2) verificou que os

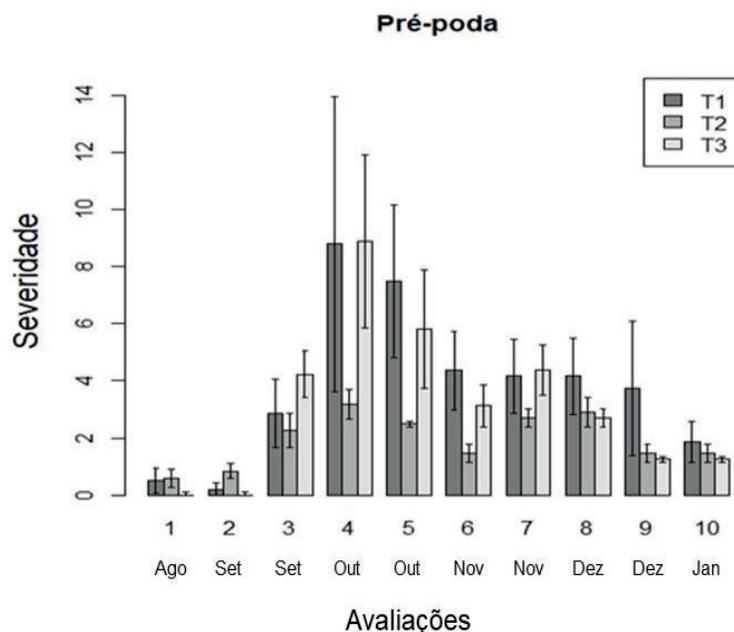


Figura 2 – Severidade (notas) da ferrugem do eucalipto (*A. psidii*) em função do tempo (meses) e do tratamento (T1 - Cedro Australiano (*T. ciliata*) + Eucalipto (*E. urograndis*) + Banana (*M. acuminata*); T2 - consórcio Amora (*M. celtidifolia*) + Eucalipto + Pupunha (*B. gasipaes*), e T3 - Mogno Africano (*K. ivorensis*) + Eucalipto + Banana), em pré-poda. Média e erro-padrão (n=16).

maiores valores de severidade para o *Austropuccinia psidii* ocorreram com umidade relativa do ar a partir de 70%.

Baseando-se nessas informações pode-se deduzir que com o aumento e regularidade do período chuvoso ocorrido no final de setembro e começo de outubro houve relativo aumento da umidade presente em toda a área do SAF, mas principalmente nos tratamentos T1 e T3 em que o eucalipto se encontrava em franca situação de sombreamento dado seu menor dossel em relação às plantas presentes nesses consórcios. Tais condições podem ter tornado o microclima mais favorável para o desenvolvimento da doença e, conseqüentemente, maior severidade.

Com base na curva de progresso da doença (Figura 2) verifica-se um decréscimo na intensidade da mesma, para os três tratamentos, a partir da sexta avaliação e que se sucede até o final do período pré-poda. Entretanto, tal comportamento é mais nítido em T1 e T3, em que a intensidade da ferrugem foi maior.

Esse comportamento de diminuição da doença logo após certo grau de severidade pode ser atribuído ao fator de estratégia de defesa que as plantas possuem quando acometidas por algum agente fitopatogênico, tais como, fungos, bactérias, vírus, nematóides e insetos. Embora, aparentemente indefesas ao serem atacadas por agressores ou até mesmo em condições adversas, as plantas apresentam estratégias de defesa na tentativa de mitigar ou até mesmo impedir a penetração de agentes fitopatogênicos (11).

Em resposta ao ataque de determinado agente patógeno, as plantas apresentam um mecanismo conhecido como resistência induzida, na tentativa de atrasar ou evitar a entrada e a subsequente atividade de um patógeno em seus tecidos. A indução de resistência envolve a ativação de mecanismos de defesa latentes existentes nas plantas em resposta ao tratamento com agentes bióticos ou abióticos (9).

De acordo com Takahashi (34) conforme as plantas de eucalipto vão avançando em idade, elas apresentam maior resistência ao fungo *A. psidii*. Sendo que após os 24 meses de idade as plantas de eucalipto ficam cada vez menos sujeitas aos efeitos deletérios decorridos da doença (32, 39).

Período pós-poda

Variáveis de crescimento

As plantas de eucalipto passaram por processo de poda apical a altura de 4m, sendo que a partir desse momento denominamos de período pós-poda, compreendido de 17/04/2019 a 13/08/2019, correspondente a 11ª até a 18ª avaliação. Deste modo, a partir desse momento não se quantificou a variável altura em função da poda realizada e continuou-se avaliando somente a variável diâmetro a altura do peito (DAP) a 1,30m acima do nível do solo.

Diâmetro a altura do peito (DAP)

É possível verificar que a variável diâmetro da planta no pós-poda mantém o mesmo padrão de crescimento do período pré-poda, onde o tratamento 2 apresentou maior desenvolvimento entre os demais tratamentos. Desta forma, através de comparações múltiplas pelo teste de Tukey (Tabela 3), percebe-se que T2 apresentou valores estatisticamente maiores de DAP em relação a T1 e T3, que não apresentam diferenças entre si ($\alpha=0,05$).

Tabela 3 – Médias marginais (com erros-padrão) dos tratamentos para diâmetro a altura do peito (DAP - 1,30m) determinadas nas

avaliações em pós-poda.

Tratamento	DAP 1,30*
T1	5,71 ± 0,46 b
T2	9,49 ± 0,46 a
T3	6,22 ± 0,46 b

*Letras diferentes (a,b) indicam médias estatisticamente distintas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Quantificação da ferrugem

Incidência da doença

Com relação à incidência da doença por *Austropuccinia psidii* após o manejo de poda, verifica-se que a mesma comportou-se de modo quase uniforme para todos os tratamentos (Figura 3), atingindo valores próximos a 100% em todos os tratamentos. Contudo, verificou-se não haver efeitos de tratamentos e interações tempo x tratamento significativos ($p<0,05$). Apenas ocorreram variações ao longo do tempo.

É possível inferir que o comportamento paritário apresentado pela incidência em todos os tratamentos tenha ocorrido em função dos novos brotos que surgiram após o processo de poda, evidenciando assim o início de uma nova dinâmica no sistema.

Como exposto anteriormente, a ferrugem é favorecida por tecidos jovens, tanto no viveiro como no campo, provocando lesões, sobretudo em órgãos tenros como folhas e brotações jovens, fatores que prejudicam o processo fotossintético, reduzindo o crescimento das plantas e causando sérios prejuízos.

Severidade da doença

Do mesmo modo como ocorrido com a incidência no pós-poda, a curva de progresso da severidade também apresentou comportamento diferente do observado no período pré-poda (Figura 4). Contudo, com base na análise de variância verifica-se não haver efeitos de tratamentos e interações tempo x tratamento significativos.

Ficou claro que o processo de poda realizado nos eucaliptos deu início a uma nova dinâmica às plantas no tocante ao desenvolvimento da ferrugem. As plantas que ao longo do pré-poda apresentaram pico da doença e logo após redução da mesma, ao sofrerem a poda apical apresentam nova tendência de aumento da severidade.

Entretanto, diferentemente da severidade observada no pré-poda, em que T2 apresentou o menor valor, no pós-poda apesar dos tratamentos não apresentarem diferença significativa ($p<0,05$), T2 pareceu ser o tratamento que mais apresentou variações quanto à severidade.

Quanto ao comportamento da severidade observado no tratamento 2, uma hipótese a se considerar é o fato de que T2 foi o consórcio que melhor se desenvolveu em relação as variáveis de crescimento (altura e diâmetro da planta), sendo, portanto, o consórcio que mais apresentou novos ramos e folhas após a poda. Como já descrito os efeitos mais danosos e severos ocasionados pelo fungo *Austropuccinia psidii* ocorrem principalmente em plantas jovens nos primórdios foliares em galhos e folhas tenros, sendo que em plantas adultas a favorabilidade ao patógeno é reduzida devido às características fisiológicas que concedem certa resistência aos indivíduos mais velhos.

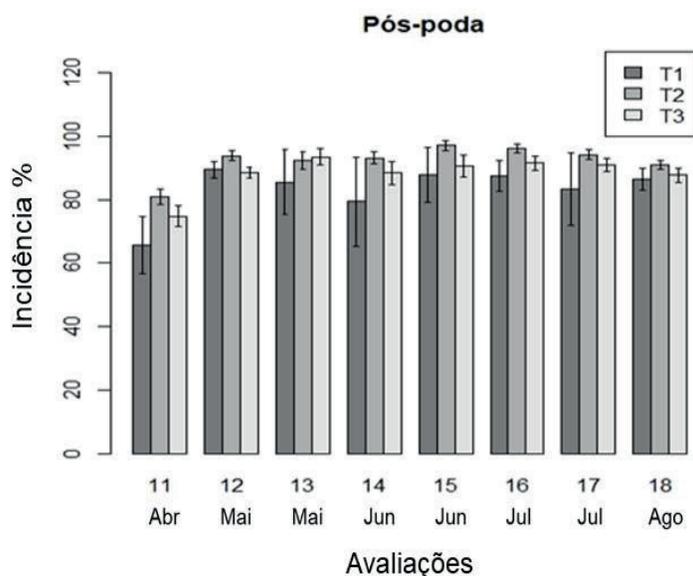


Figura 3. Incidência (%) da ferrugem do eucalipto (*A. psidii*) em função do tempo (meses) e do tratamento (T1 - Cedro Australiano (*T. ciliata*) + Eucalipto (*E. urograndis*) + Banana (*M. acuminata*); T2 - consórcio Amora (*M. celtidifolia*) + Eucalipto + Pupunha (*B. gasipaes*), e T3 - Mogno Africano (*K. ivorensis*) + Eucalipto + Banana), em pós-poda. Média e erro-padrão (n=16).

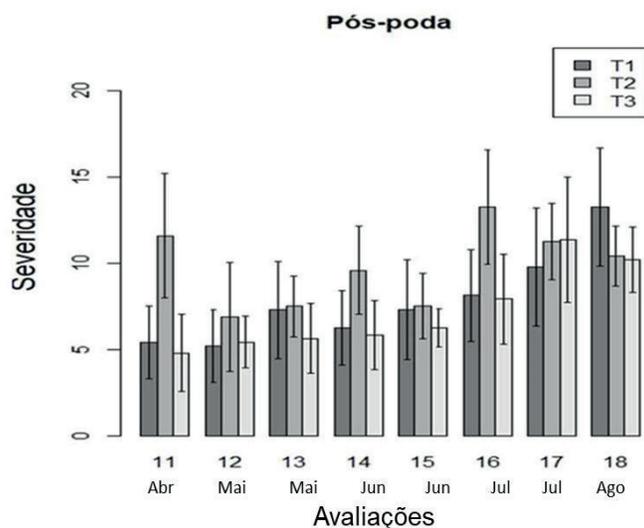


Figura 4. Severidade (notas) da ferrugem do eucalipto (*A. psidii*) em função do tempo (meses) e do tratamento (T1 - Cedro Australiano (*T. ciliata*) + Eucalipto (*E. urograndis*) + Banana (*M. acuminata*); T2 - consórcio Amora (*M. celtidifolia*) + Eucalipto + Pupunha (*B. gasipaes*), e T3 - Mogno Africano (*K. ivorensis*) + Eucalipto + Banana), em pós-poda. Média e erro-padrão (n=16).

A intensidade da ferrugem do eucalipto foi menor no consórcio composto por Amora + Eucalipto + Pupunha.

REFERÊNCIAS

- APARECIDO, C.C.; Vale, S.L. Importância do fungo *Puccinia psidii* winter para a cultura de eucalipto no estado de São Paulo. **Biológico**, v.74, n.1, p.19-22, 2012.
- APARECIDO, Christiane Ceriani. **Estudos ecológicos sobre *Puccinia psidii* winter - ferrugem das mirtáceas**. 2001. 65 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2001. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/97238>.
- BINKLEY, D., STAPE, J.L., BAUERLE, W.L., & RYAN, M.G. Explaining growth of individual trees: Light interception and efficiency of light use by Eucalyptus at four sites in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1704–1713, 2010. Disponível em <doi:10.1016/j.foreco.2009.05.037>.
- BLUM, L.E.B.; DIANESE, J.C. Padrões de liberação de uredíniosporos e desenvolvimento da ferrugem do jameiro. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, DF, v. 36, n. 6, p. 845-850, jun. 2001.
- BOAVA, L.P.; KUHN, O.J.; PASCHOLATI, S.F.; DIPIERO R.M.; FURTADO, E.L. Efeito de indutores bióticos e abióticos na atividade de quitinase e peroxidase e no controle da ferrugem causada por *Puccinia psidii* em eucalipto. **Summa Phytopathologica**, v.36, n.2, p.168-172, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-54052010000200012>.
- BORA, K.C. et al. Favorabilidade climática para a ferrugem do eucalipto no estado do Paraná. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 1, p. 24–42, 2016.

- Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0100-5405/2015>>.
7. CARON, Bráulio Otomar et al.. Eficiência do uso da radiação solar por plantas *Ilex paraguariensis* A. ST. HIL. cultivadas sob sombreamento e a pleno sol. **Ciênc. Florest.** Santa Maria, v.24, n.2, p.257-265, Jun. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-50982014000200257&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 17 Abr. 2020.
 8. CARVALHO, A.O.; ALFENAS, A.C.; MAFFIA, L.A.; CARMO, M.G.F.. Resistência de espécies, progênies e procedências de *Eucalyptus* à ferrugem, causada por *Puccinia psidii* Winter. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 33, p. 139-147. 1998.
 9. CARVALHO, Nathália Leal. Resistência genética induzida em plantas cultivadas. **REGET**, v. 7, n. 7, p. 1379-1390, Mar-Ago, 2012.
 10. COUTINHO, T.A. et al. Eucalyptus Rust: A Disease with the Potential for Serious International Implications. **Plant Disease**, v. 82, n. 7, p. 819-825, 1998.
 11. FERNANDES, C.F.; VIEIRA JUNIOR, J. R.; SILVA, D. S. G.; REIS, N. D.; ANTUNES JUNIOR, H. **Mecanismos de defesa de plantas contra o ataque de agentes fitopatogênicos**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2009 (Documentos, 133).
 12. FERREIRA, F.A.A ferrugem do eucalipto. **Revista Árvore**, v. 7, n. 2, p. 92-109, 1983.
 13. FERREIRA, F.A. **Patologia Florestal; principais doenças florestais no Brasil**. Viçosa: SIF, 1989. 570p.
 14. GLENCROSS K.; WEST, P.W.; NICHOLS, J.D.; Species shade tolerance affects tree basal area growth behaviour in two eucalypt species in thinned and unthinned even-aged monoculture. **Australian Forestry**. v. 72, p. 157-167. 2016. DOI: 10.1080/00049158.2016.1160354
 15. GLIESSMAN, S.R. **Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems**. (third ed.). CRC Press, Boca Raton, USA, 2015.
 16. HUBER, L.; GILLESPIE, T.J.. Modelagem da umidade das folhas em relação à epidemiologia de doenças de plantas. **Revista Anual de Fitopatologia**, v. 30, p. 553-577, 1992.
 17. JESUS JUNIOR, W.C.; VALE, F.X.R.; MORAES, W.B.; ZAMBOLIM, L.; RAMOS, F.A. Critérios epidemiológicos para tomada de decisão no manejo de doenças de plantas. In: JESUS JUNIOR, W.C.; POLANCZYK, R.; PRATISSOLI, D.; PEZZOPANE, J.E.M.; SANTIAGO, T. (Org.) **Atualidades em Defesa Fitossanitária**. 1 ed. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora, 2007, v. 1, p. 307-326.
 18. JUNGHANS, D.T.; ALFENAS, A.C.; MAFFIA, L.A. Rating scale to eucalypts rust severity evaluation. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 184-188, 2003.
 19. MARTINS, E.G.; SHIMIZU, J.Y.; FERREIRA, C.A. Desempenho de procedências de grevilea em Quedas do Iguacu, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 40, p. 45-56, 2000.
 20. MASSON, M.V.; PORCENA, A.S.; FURTADO, E.L. Escala diagramática para quantificação da severidade da ferrugem do eucalipto, confeccionada por imagem digital. No prelo.
 21. MASSON, M.V. et al. Eficiência e viabilidade econômica do controle químico da ferrugem do eucalipto em condições de campo. **Summa Phytopathologica**, v. 37, n. 2, p. 107-112, 2011.
 22. MILLNER, J.P.; KEMP, P.D. Seasonal growth of Eucalyptus species in New Zealand hill country. **New Forests**. v.43, p. 31-44, 2012. DOI 10.1007/s11056-011-9264-x
 23. MORAES, W.B. et al. Mapeamento de áreas de risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto no Espírito Santo e extremo sul da Bahia. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 2, p. 147-155, 2014.
 24. PEREIRA, Ana Carolina Machado et al.. Avaliação do componente arbóreo e forrageiro de sistemas silvipastoris na mesorregião dos “campos das vertentes” de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**. v. 5, n.1, p. 66-77, Jul., 2015.
 25. PIERI, Cristiane de. **Progresso da ferrugem (*Puccinia psidii*) em monocultivo de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e em plantios consorciados com *Acacia mangium***. 2016. 98 f. (Tese de Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de Botucatu-SP.
 26. PIERONI, L. de P.; PIERI, C.; FURTADO, E.L.; SILVA, R.B. Severidade de *Austropuccinia psidii* em epidemia aberta e inoculação controlada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia da FAEF**. v. 34, n. 1, Dez. 2018.
 27. RIGHI, C.A.; COUDERC, V.; PEREIRA, C.R.; COUTO, H.T.Z.; SILVA, L.D. Effect of shade on biomass accumulation and partitioning for *Eucalyptus camaldulensis* sprouts. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 35, p. 75-87, 2015. DOI: 10.1080/10549811.2015.1102072
 28. RIGHI, C.A.; BERNARDES, M.S. Cadernos da Disciplina Sistemas Agroflorestais. In: RIGHI, C.A.; BERNARDES, M.S. (Eds.). **Cadernos da Disciplina Sistemas Agroflorestais**. Piracicaba-SP: Série Difusão, v. 1. p. 108, 2015. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/biblioteca/pdf/Cadernos-da-Disciplina-SAFs-2015.pdf> ISBN: 978-85-919095-0-6
 29. ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: Instituto Florestal, V.1. 118p. (inclui Mapas), 2017.
 30. RUIZ, R.A.R.; ALFENAS, A.C.; FERREIRA, F.A.; VALE, F.X.R. Do. Influência da temperatura, do tempo de molhamento foliar, fotoperíodo e da intensidade de luz sobre a infecção de *Puccinia psidii* em eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 14, p. 55-61, 1989.
 31. SANTOS, Carlos André Gaspar dos. **Estudos epidemiológicos da ferrugem do eucalipto causado por *Puccinia psidii* em plantios irrigados**. 2006. vii, 66 f. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 2006. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/97195>>. Acesso em: 04 Jan. 2019.
 32. SHANER, G.; FINNEY, R.E. Effect of nitrogen-fertilization on expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. **Journal of Phytopathology**, v.67, n.8, p.1051-1056, 1977. <https://doi.org/10.1094/Phyto-67-1051>.
 33. SILVA, D.E.M. da; AZEVEDO, L.A.S. de; POLTRONIERI, T.P.S. Avaliação da resistência de espécies de eucalipto à ferrugem (*Puccinia psidii* Winter). **Summa phytopathol.**, Botucatu, v. 40, n. 1, p. 54-62, Mar. 2014. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-54052014000100008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 13 Mai. 2020.
 34. TAKAHASHI, S.S. **Ferrugem do eucalipto: índice de infecção, análise temporal e estimativas de danos relacionadas à intensidade da doença no campo**. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu-SP, 2002.
 35. VALE, F.X.R. do; ZAMBOLIM, L.; COSTA, L.C.; LIBERATO, J.R.; DIAS, A. P.S. Influência do clima no desenvolvimento de doenças de plantas. In: Vale, F.X.R. do; Jesus Junior, W.C. de; Zambolim, L. (Ed.) **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Editora Perfil, 2004, cap. 2, p. 47-87.
 36. VALLADARES, F.; NIINEMETS, U. Shade Tolerance, a Key Plant Feature of Complex Nature and Consequences. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**. V. 39, p. 237-257, Dez. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173506>. Acesso em 10 Mai. 2020.
 37. VALLADARES, Fernando. Light Heterogeneity and Plants: from Ecophysiology to Species coexistence and biodiversity. In: Esser K., Lüttge U., Beyschlag W.; Hellwig F. (eds) **Progress in Botany. Progress in Botany, Springer, Berlin, Heidelberg**. v. 64, 2003. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55819-1_17.
 38. VALVERDE, S.R.; SOARES, N.S.; SILVA, M L.; JACOVINE, L.A.G.; NEIVA, S.A. O comportamento do mercado da madeira de Eucalipto no Brasil. **Biomassa & Energia** (Viçosa), v. 1, p. 19, 2004.
 39. ZAUZA, E.Á.V. **Epidemiologia da ferrugem do eucalipto e resistência genética**. 2007. 67p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Viçosa, 2007.