

## Dispersão e impacto de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* em área ripária na Floresta Nacional de Capão Bonito -SP

Spreading and impact of *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* on the riparian area in Capão Bonito National Forest – SP state

Marli Ramos<sup>I</sup>, Teresa Cristina Magro<sup>II</sup>, Hilton Thadeu Zarate do Couto<sup>III</sup>, Tito Nunes de Castro<sup>IV</sup>

### Resumo

Conduzido em uma área ripária da unidade de conservação denominada Floresta Nacional de Capão Bonito - SP, este estudo avaliou, em diferentes classes de distância da plantação de *Pinus elliottii* var. *elliottii* (pinus): 1) a densidade de vegetação nativa, pinus com cone e pinus sem cone; 2) a área basal de vegetação nativa e pinus com cone; e 3) a umidade por frequência de ocorrência de solo seco, solo saturado superficialmente e solo inundado. O objetivo foi verificar a situação de invasão e desenvolvimento de pinus, sua relação com a vegetação nativa e com o solo. Pela Correlação de Spearman, verificou-se que não houve diferença significativa no estabelecimento de pinus nas diferentes classes de distância (média = 335), confirmando seu potencial invasor. Ao observar o incremento na densidade de vegetação nativa, verifica-se a diminuição na abundância de pinus com cone, porém, ocorreu seu estabelecimento. Houve, inclusive, o recrutamento de plântulas e juvenis (pinus sem cone) que possuem capacidade de autoperpetuação por substituição aos indivíduos senis e perecidos. Ao considerar a mesma densidade de pinus com cone e de vegetação nativa, obteve-se área basal de pinus com cone oito vezes a de vegetação nativa. Esta elevada área basal indica competição por atributos ambientais, o que pode comprometer a manutenção e sobrevivência de espécies nativas a médio e longo prazo. Ocorreu maior prevalência de ocupação por pinus com cone em solo seco em detrimento das espécies nativas. Os impactos ambientais comprovados pela presença, desenvolvimento e invasão de *Pinus elliottii* indicam a necessidade de sua erradicação e manejo contra reinfestação.

**Palavras-chave:** Espécie exótica invasora; Distúrbio ambiental; Invasão biológica; Unidade de conservação

### Abstract

Conducted in a riparian area of the protected area called Capão Bonito National Forest – SP state, this study assessed at different distance classes from *Pinus elliottii* var. *elliottii* (pine) plantation: 1) the density of native vegetation, pine with-cone and pine without-cone; 2) the basal area of native vegetation and pine with-cone and 3) the humidity by frequency of occurrence of dry soil, saturated soil surface and flooded soil. The objective was to verify the situation of invasion and development of pine, its relationship with native vegetation and soil. By Spearman Correlation Coefficient, it was demonstrated that there was no difference in the pine establishment in different distances (average = 335), confirming its invasive potential. When the increase in native vegetation density is observed, there is a decrease in the pine with-cone abundance, however, its establishment occurred. In addition, there was recruitment of seedlings and juveniles (pine without-cone) which have the capacity for self-perpetuation by substitution for senile and perished individuals. When considering the same pine with-cone density and native vegetation, it was obtained basal area of pine with-cone eight times more than the native vegetation; this high basal area indicates competition for environmental attributes which may compromise maintenance and survival of native species in the medium and long term. There was a higher prevalence of pine with-cone occupation in dry soil in detriment of native species. The environmental impacts resulted by the presence, development and invasion of *Pinus elliottii* indicate the need for its eradication and management against reinfestation.

**Keywords:** Invasive exotic species; Environmental disturbance; Biological invasion; Protected area

<sup>I</sup> Bióloga, MSc., Analista Ambiental do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Ministério do Meio Ambiente, Caixa Postal 37, CEP18300-970, Capão Bonito (SP), Brasil. marli.ramos@icmbio.gov.br ORCID: (0000-0003-1732-491X)

<sup>II</sup> Engenheira Florestal, Dra., Professora Associada do Departamento de Ciências Florestais, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 9, Av. Pádua Dias, 11, São Dimas, CEP 13418-900, Piracicaba (SP), Brasil. teresa.magro@usp.br ORCID: (0000-0002-8999-3509)

<sup>III</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 9, Av. Pádua Dias, 11, São Dimas, CEP 13418-900, Piracicaba (SP), Brasil. htzcouto@usp.br ORCID: (0000-0002-8698-6442)

<sup>IV</sup> Engenheiro Florestal, Dr., Departamento de Ciências Florestais, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 9, Av. Pádua Dias, 11, São Dimas, CEP 13418-900, Piracicaba (SP), Brasil. tito.castro@usp.br/tncastro@gmail.com ORCID: (0000-0003-0477-4081)

## Introdução

Em função de sua localização estratégica, os ecossistemas ripários encontram-se em elevado grau de deterioração ocasionado por ações antrópicas no processo de ocupação do solo, o que pode trazer uma série de mudanças e prejuízos ao ambiente ripário, com comprometimento de seus atributos físicos, químicos e biológicos. Aquino *et al.* (2016) destacam que ambientes ripários são extremamente importantes e imprescindíveis como geradores de serviços ecossistêmicos para a sobrevivência das comunidades dependentes. No entanto, estas áreas estão entre os ambientes mais invadidos em muitas regiões do mundo e são altamente vulneráveis e sensíveis à invasão por espécies exóticas (PLANTY-TABACCHI *et al.*, 1996; HOOD; NAIMAN, 2000; RICHARDSON *et al.*, 2007; CHYTRÝ *et al.*, 2008).

As Unidades de Conservação não estão livres da contaminação biológica e têm efetivamente perdido biodiversidade devido à competição que as espécies nativas enfrentam com espécies invasoras (LIMA; ZILLER, 2002). No Brasil, em 227 unidades de conservação, foram registradas 19 espécies exóticas invasoras de água doce e 148 espécies terrestres (ZILLER; DECHOUM, 2013). Do total de espécies extintas com causas compiladas e conhecidas, 54% são derivadas do efeito de espécies invasoras (CLAVERO; GARCÍA-BERTHOU, 2005). É fato conhecido que invasões biológicas são, depois da perda de *habitat*, as mais potentes ameaças à diversidade de espécies ao redor do mundo (ZILLER, 2001; DOGRA *et al.*, 2010).

Algumas espécies de *Pinus* estão entre as que mais se espalham e de maior influência entre todas as plantas invasoras, especialmente no hemisfério sul (RICHARDSON; HIGGINS, 1998).

O Brasil conta com plantações florestais crescentes de *Pinus*, totalizando cerca de 1,59 milhão de hectares (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2015). As invasões no Brasil são, principalmente, ocasionadas por *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* que invadem vastas extensões de ambientes naturais e alterados (ZILLER, 2000; 2001; BECHARA *et al.*, 2013).

Experimentos silviculturais com *Pinus elliottii* Engelm. foram realizados no estado de São Paulo nas décadas de 1940, 1950 e 1960, por meio de programa de introdução e fomento. Em consequência, *Pinus elliottii* tem se alastrado em ritmos alarmantes sobre áreas com vegetação nativa (VOLTOLINI; ZANCO, 2010). Aparece como invasor em diferentes ecorregiões: Mata Atlântica, Floresta de Araucária, Savana (Cerrado *strictu sensu*) e florestas das costas da Serra do Mar (SIMBERLOFF *et al.*, 2010).

Ao compararem 16 espécies de pinus e, baseados em características do *habitat*, tamanho do propágulo e número das populações-recurso, Zenni e Simberloff (2013) confirmaram a presença de *Pinus elliottii* como invasor em Floresta Ombrófila Mista. Grandes populações introduzidas de *Pinus elliottii* dispersam grande número de propágulos, tal como o efeito da densidade, que prenunciam o sucesso da invasão (RICHARDSON; HIGGINS, 1998; FINE, 2002). Contribui com esse sucesso, a alta taxa de germinação de pinus, em muitos casos, acima de 90% (ZILLER; GALVÃO, 2002).

Plantas invasoras utilizam fungos micorrízicos (simbiontes), de forma a manter seu estabelecimento e crescimento com ganho em biomassa (WOLFE; KLIRONOMOS, 2005). No sul da Austrália, após 30 anos de invasão por *Pinus radiata*, houve decréscimo no número e biomassa de espécies nativas em mais do que 50% (VIRTUE; MELLAND, 2003). Os impactos ambientais negativos derivados de invasões biológicas se agravam com o tempo e não permitem que os ecossistemas se recuperem naturalmente (WESTBROOKS, 1998).

Para alguns autores, como Bourscheid e Reis (2010) e Zenni e Ziller (2011), o conhecimento sobre as ameaças e danos ecológicos e econômicos causados por espécies invasoras nos ecossistemas brasileiros ainda é deficiente e não tem recebido a atenção necessária. Justifica-se o melhor entendimento dos processos de invasão e controle, uma vez que o Brasil é detentor de dois *hotspots* de diversidade reconhecidos como prioritários na conservação da biodiversidade, o Cerrado (Savana) e a Mata Atlântica, além da mais alta diversidade de plantas do mundo (MYERS *et al.*, 2000).

Características estruturais da vegetação, tais como a densidade e a área basal e, a umidade do solo como indicador de qualidade física, foram registradas e analisadas em uma área ripária da Floresta Nacional de Capão Bonito - SP. Foi realizada a análise e comparação desses atributos com relação ao processo de dispersão de *Pinus elliottii*. A hipótese principal da pesquisa foi que a vegetação nativa não resiste à invasão e desenvolvimento de pinus em área ripária e, para tanto, foram levantadas as seguintes questões:

1. A densidade de pinus é maior próximo aos talhões e diminui conforme aumenta a distância dos talhões?
2. O incremento na densidade de vegetação nativa permite a diminuição na abundância de pinus?
3. O processo invasivo é contínuo? Está ocorrendo disseminação e consequente recrutamento de pinus sem cone (plântulas e juvenis)?
4. A área basal de pinus apresenta-se maior do que a de vegetação nativa na mesma densidade?
5. A maior ocorrência de pinus incide em solo seco, solo saturado superficialmente ou solo inundado?

## Material e métodos

### Caracterização do local

A área de estudo está localizada na Floresta Nacional de Capão Bonito, estado de São Paulo, Brasil. O clima é mesotérmico (Cwa), com umidade relativa entre 74 – 82%. A temperatura média anual é 19°C, com média mensal oscilando entre 15°C (julho) e 23°C (fevereiro). A média anual de chuva acumulada é de 1.300 mm e varia de 1.200 mm a 1.400 mm, com a chuva distribuída uniformemente pelo ano. Os meses de maiores chuvas estão situados entre outubro e março, e os mais secos entre abril e setembro. A amplitude de altitude do relevo varia entre 626 e 775 m. O tipo de solo que prevalece é o Latossolo Vermelho, e o Argissolo Vermelho Amarelo ocorre numa pequena e estreita faixa de terra na parte norte da unidade.

### Histórico

Em 1944, parte da área atual foi adquirida pelo Instituto Nacional do Pinho, com o propósito de incentivo e fomento madeireiro. A partir da década de 1950, iniciaram-se extensos plantios com *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*, resultando em uma área atual de 2.400 ha (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2017). A partir do primeiro plantio e durante estes 60 anos, as áreas ripárias adjacentes a estes plantios têm sido progressivamente invadidas.

### Área de estudo

O local de realização da pesquisa situa-se em áreas ripárias de dois cursos d'água: um riacho sem denominação de pequeno porte e um rio médio denominado Paranapitanga. Nestas áreas ocorrem diferentes fisionomias vegetais associadas a solos úmidos, permanentemente alagados, ou estabelecidas nas áreas de influência da rede de drenagem. A área utilizada para a pesquisa situa-se a leste desta unidade de conservação, coordenada geográfica 23°54'53.2"S e 48°29'36.6"W, sob influência de dois talhões plantados em 1959, com *Pinus elliottii*, de 40 e 42 ha, respectivamente. Os plantios foram estabelecidos na distância 2 m x 2 m e possuem altura atual estimada de 25 m. A área efetiva do trabalho foi de 12.200 m<sup>2</sup>, conforme descrito abaixo.

## Metodologia

A densidade, área basal e umidade foram obtidas em diferentes classes de distância (DIST), a partir da plantação de pinus: 0 a 20 m (20), > 20 a 40 m (40), > 40 a 60 m (60), > 60 a 80 m (80) e > 80 a 100 m (100). Foram delimitados 15 transectos de até 100 m, distantes cerca de 50 m um do outro, divididos em parcelas de 10 m x 10 m, num total de 122 parcelas. Para o levantamento dos dados foi realizada a amostragem sistemática.

A densidade absoluta (D) foi avaliada em cada parcela, pela contagem de indivíduos, de outubro a novembro de 2014, para: a) pinus com cone (PCC), adulto reprodutivo de diâmetro a altura do peito (DAP)  $\geq 5$  cm; b) pinus sem cone (PSC), plântulas e juvenis com qualquer DAP e altura e; c) vegetação nativa (NAT), todo indivíduo nativo de DAP  $\geq 5$  cm. A área basal (AB) foi obtida pela medição de indivíduos para: a) vegetação nativa (NAT) de DAP  $\geq 5$  cm e; b) pinus com cone (PCC) de DAP  $\geq 5$  cm. Os valores obtidos foram convertidos em ind.ha<sup>-1</sup> (densidade absoluta) e em m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> (área basal em hectares). Por não se tratar de espécies foco da pesquisa e pela inexpressividade na área de estudo, os raros indivíduos exóticos de outras espécies foram desconsiderados.

As condições de umidade do solo foram verificadas tomando-se cinco pontos amostrais por parcela, nos meses de dezembro/2014 e janeiro/2015, e maio de 2015, representando, respectivamente, o período de maior e menor chuva. Os registros foram conduzidos conforme indicado em Prata, Pinto e Assis (2011), seguindo três categorias qualitativas visuais: (1) solo seco (SS): ausência de saturação, (2) solo saturado superficialmente (SSS): encharcado, (3) solo inundado (SI): sob lâmina d'água. Os valores foram transformados em frequência de ocorrência simples relativa percentual (%) para cada categoria observada.

A partir dos dados de densidade, área basal e umidade (variáveis dependentes) nas distintas classes de distância (variáveis independentes) foram utilizados três modelos estatísticos, ou seja, análises de regressão linear simples, quadrática e logarítmica para verificar a relação funcional entre as variáveis e a adequação dos modelos em nível de significância. Para avaliar possíveis correlações ambientais entre as variáveis, utilizou-se a Correlação de Spearman. As análises estatísticas foram realizadas no programa SAS versão 9.3.

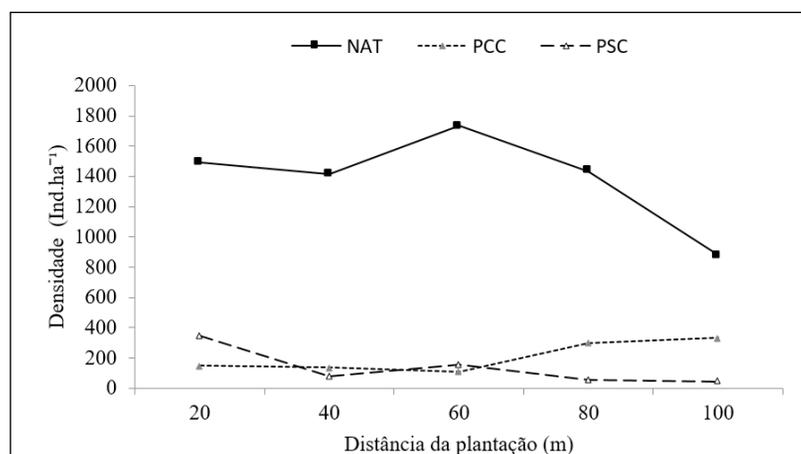
## Resultados e discussão

### Densidade

Os resultados obtidos nas distintas classes de distância expressaram a densidade (D) com valores que variaram de 878 a 1.733 ind.ha<sup>-1</sup> (média = 1.476) para vegetação nativa (NAT), de 107 a 333 ind.ha<sup>-1</sup> (média = 178) para pinus com cone (PCC) e de 44 a 347 ind.ha<sup>-1</sup> (média = 157) para pinus sem cone (PSC), com uma densidade média total de pinus (PCC + PSC) de 335 ind.ha<sup>-1</sup> (Figura 1).

**Figura 1 – Densidade (D) (ind.ha<sup>-1</sup>) de vegetação nativa (NAT), pinus com cone (PCC) e pinus sem cone (PSC); nas classes de distância: 0 a 20 m (20), > 20 a 40 m (40), > 40 a 60 m (60), > 60 a 80 m (80) e > 80 a 100 m (100). Não houve diferença significativa para DPCC e DPSC ( $p > 0,05$ ), entretanto, DNAT apresenta diferença significativa ( $P = 0,0193$ ).**

Figure 1 – Density (D) (ind.ha<sup>-1</sup>) of native vegetation (NAT), pine with-cone (PCC) and pine without-cone (PSC); at the distance classes: 0 to 20 m (20), > 20 to 40 m (40), > 40 to 60 m (60), > 60 to 80 m (80) and > 80 to 100 m (100). There was no significant difference for DPCC and DPSC ( $p > 0.05$ ), however, DNAT has significant difference ( $P = 0.0193$ ).



As variações de densidade de pinus com cone (PCC) são superiores aos resultados encontrados por Zenni e Simberloff (2013) em pesquisa na Floresta de Araucária no Sul do Brasil, onde encontraram densidade de *Pinus elliottii* de 33 a 133 plantas. ha<sup>-1</sup> (plantas maiores que 0,5 m), com média de 64. E são inferiores aos verificados por Menon e Carvalho (2012), no Campus da Universidade Federal de Juiz de Fora, com *Pinus elliottii* em ambiente aberto e fechado, em que observaram densidade (estrato arbóreo, DAP ≥ 5 cm) de 667 e 1.068 ind. ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

No presente estudo, a maior densidade de pinus (PCC + PSC) ocorreu na classe de distância mais próxima do plantio, resultado já esperado, em que a chuva de sementes é mais intensa devido à proximidade com a borda do talhão, e diminuiu nas duas faixas de distância seguintes e volta a crescer nas duas últimas classes de distância (60 a 100 m), contrariando estudos de Mahmoud *et al.* (2003) e Bourscheid e Reis (2010), com *Pinus elliottii*, que verificaram maior densidade próxima à borda e decresceu conforme aumentou a distância. Entretanto, Gilbert e Lechowicz (2005), com pesquisa realizada entre distância e similaridade ambiental, constataram que a riqueza de espécies exóticas aumentou em função da distância da reserva natural. Na área de estudo isto ocorreu, possivelmente, por distúrbios devidos a causas naturais ou ao histórico de perturbação antrópica, antes ou no decorrer da implantação dos plantios.

Na área ripária do presente estudo, o grau de invasividade se confirmou, com presença de pinus (PCC + PSC) em todas as classes de distância e expressiva densidade (335 ind. ha<sup>-1</sup>). Observou-se que o incremento na densidade de vegetação nativa (NAT) conduz à diminuição na abundância de pinus (PCC), porém, não impede seu estabelecimento. E, ao contrário, o aumento na densidade de pinus conduz à diminuição na densidade de vegetação nativa e consequente dificuldade do estabelecimento e incremento dessa vegetação nativa. Esses resultados são corroborados por Zenni e Simberloff (2013) que, em pesquisa de disseminação de *Pinus elliottii*, comprovaram que a densidade de pinus diminuiu com o aumento da densidade de floresta nativa.

No presente estudo, a maior densidade de vegetação nativa ocorreu na classe intermediária de distância (40 a 60 m) em que incide a menor densidade de pinus com cone, e a menor densidade de vegetação nativa foi na última classe de distância (80 a 100 m), na qual foi registrada a maior densidade de pinus com cone.

A abundante densidade de pinus adulto reprodutivo encontrado (178), considerando-se que cada indivíduo possui cerca de 500 cones com 100 sementes (50.000 sementes) (LIESENFELD; PELLEGRIM, 2004), além de provocar uma intensa chuva de sementes, conduz ainda à dispersão secundária contínua na área e posterior agravamento do processo invasivo. Esta situação é corroborada por Bechara *et al.* (2013), os quais averiguaram que cada indivíduo de *Pinus elliottii* dissemina 2.500 sementes por hectare ao ano.

A população de pinus disseminada para a área ripária apresentou um elevado estoque de plântulas e juvenis (PSC), com recrutamento em todas as classes de distância, o que demonstra capacidade de autopropagação na área por substituição aos indivíduos senes e pericados.

Os resultados expressivos de densidade de pinus (335) na área ripária, na qual deveriam ocorrer somente espécies nativas, já demonstram a gravidade deste problema ambiental para a conservação de espaços ripários.

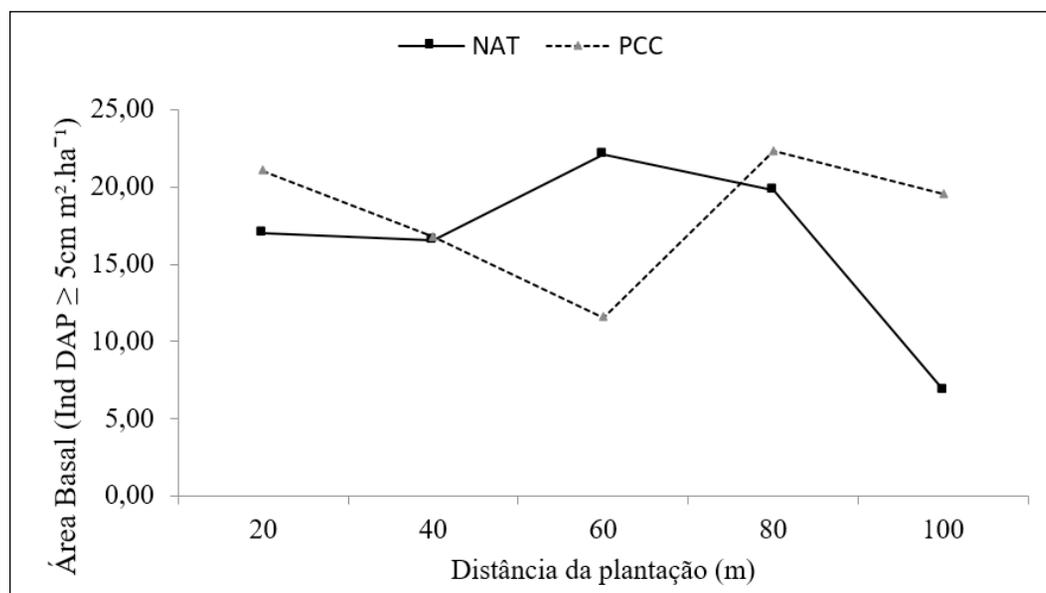
Na análise estatística, o modelo logarítmico se ajustou melhor aos dados de densidade de vegetação nativa (DNAT) quando comparado com os outros modelos testados; e o resultado da análise de variância foi significativo ( $P = 0,0193$ ) nas diferentes classes de distância. Foram também fornecidos o coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,0448$ ), valor intercepto ( $\beta_0 = 9,63160$ ) e coeficiente da equação ( $\beta_1 = 0,84011$ ). Já para a densidade de pinus com cone (DPCC) e pinus sem cone (DPSC), ficou demonstrado que os resultados das análises de variância não foram significativos, inclusive nos outros dois modelos testados.

## Área basal

Os resultados de área basal (AB) indicaram variação de 6,87 a 22,07 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> (média = 17,92) para vegetação nativa (NAT) e de 11,56 a 22,33 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> (média = 17,79) para pinus com cone (PCC) (Figura 2).

**Figura 2 – Área Basal (AB) ( $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) de vegetação nativa (NAT) e pinus com cone (PCC); nas classes de distância: 0 a 20 m (20), > 20 a 40 m (40), > 40 a 60 m (60), > 60 a 80 m (80) e > 80 a 100 m (100). Não há diferença significativa para ABNAT e ABPCC ( $p > 0,05$ ).**

Figure 2 – Basal area (AB) ( $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) of native vegetation (NAT) and pine with-cone (PCC); at the distance classes: 0 to 20 m (20), > 20 to 40 m (40), > 40 to 60 m (60), > 60 to 80 m (80) and > 80 to 100 m (100). There was no significant difference for ABNAT and ABPCC ( $p > 0.05$ ).



Verificou-se que a proporção de área basal de pinus em relação à de vegetação nativa é de, aproximadamente, 1:1 (17,79:17,92). A densidade de pinus com cone foi, essencialmente, 8 (oito) vezes menor que a de vegetação nativa (178:1476). Portanto, ao se considerar a mesma densidade de pinus com cone e de vegetação nativa (1:1), tem-se área basal de pinus com cone oito vezes a de vegetação nativa (8:1).

Os dados de área basal obtidos no presente estudo são inferiores aos registrados por Zurita *et al.* (2006), em estudo na Floresta Atlântica da Argentina, onde evidenciaram área basal (indivíduos DAP > 10 cm) para floresta nativa e *Pinus sp.*, cujos valores variaram de 33 a 51  $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  (média = 39) e 35 a 46  $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  (média = 37), respectivamente. Em povoamentos implantados de 18 a 21 anos e com base em amostras de contagem angular e pela análise de tronco, Tonini (2000) verificou a área basal entre 21,50 e 40,80  $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  e, conforme Flauch (2007), em povoamentos de *Pinus elliottii* aos 40 anos, área basal acima de 17  $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  resulta em crescimento próximo ao máximo.

Scholes e Nowicki (1998) evidenciaram que em plantações comerciais de pinus, altas taxas de crescimento e incremento de biomassa levam a expressivas reduções no conjunto total de nutrientes do solo.

No presente estudo, constatou-se que os resultados de área basal de pinus com cone são condizentes aos encontrados em plantios comerciais. Esta situação indica o elevado desenvolvimento pelo melhor uso de atributos ambientais, o que pode ter influenciado na competição do pinus sobre a vegetação nativa.

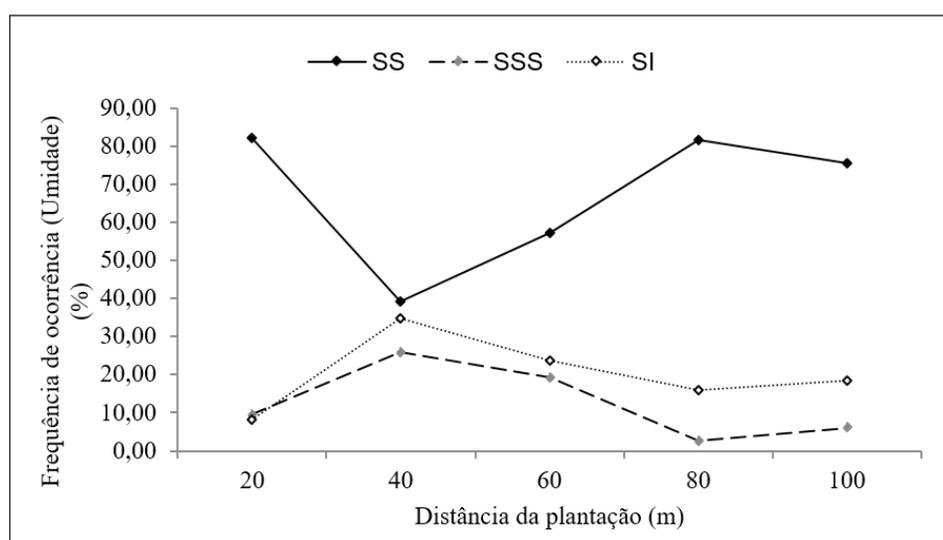
Pela análise de variância nas distintas classes de distância, demonstrou-se que os resultados dos modelos ajustados não foram significativos para a área basal de vegetação nativa e de pinus, como se observa no modelo de regressão logarítmica tem-se para a vegetação nativa (NAT) ( $F = 2,74$ ;  $P = 0,1002$ ) e pinus (PCC) ( $F = 0,02$ ;  $P = 0,8983$ ). Comprovou-se que não há relação entre área basal e classes de distância, ou seja, não existe diferença no desenvolvimento e desempenho do pinus baseado na distância.

## Umidade

Os resultados obtidos nas diferentes classes de distância expressaram as condições de umidade pela frequência de ocorrência (%) de solo seco, solo saturado superficialmente e solo inundado, pela média de umidade do período chuvoso e seco, com valores que variaram de 39,34 a 82,34% (média = 64,81%) para solo seco (SS), de 2,61 a 25,84% (média = 15,03%) para solo saturado superficialmente (SSS) e de 8,17 a 34,84% (média = 20,16%) para solo inundado (SI) (Figura 3).

**Figura 3 – Umidade pela frequência de ocorrência (%) para solo seco (SS), solo saturado superficialmente (SSS) e solo inundado (SI); nas classes de distância: 0 a 20 m (20), > 20 a 40 m (40), > 40 a 60 m (60), > 60 a 80 m (80) e > 80 a 100 m (100). Não há diferença significativa para SS, SSS e SI ( $p > 0,05$ ).**

Figure 3 – Humidity by frequency of occurrence (%) for dry soil (SS), surface saturated soil (SSS) and flooded soil (SI); at the distance classes: 0 to 20 m (20), > 20 to 40 m (40), > 40 to 60 m (60), > 60 to 80 m (80) and > 80 to 100 m (100). There was no significant difference for SS, SSS and SI ( $p > 0.05$ ).



O solo seco prevaleceu sobre o solo saturado superficialmente e o solo inundado em todas as classes de distância. Isto se deve pelo SSS e SI ocorrerem somente nas áreas úmidas e encharcadas da zona ripária estudada, dentro da zona de interflúvio dos cursos d'água. Em Campo Verde - MT, Farias, Silva e Barbosa (2012) encontraram valores de umidade em fragmento de mata ciliar (15%), em margem de curso d'água (23,2%) e unidade de restauração (8,9%), em que a maior umidade ao longo do curso d'água foi explicada pela existência de microclima favorável, no qual a vegetação promoveu um maior controle da radiação solar, do vento e da umidade do ar.

No presente estudo, pelos resultados da análise de variância, ficou demonstrado que os modelos ajustados dentro das classes de distância, para frequência de ocorrência de SS (solo seco), SSS (solo saturado superficialmente) e SI (solo inundado), não se mostraram significativos nos três modelos de análise de regressão, como se observa no modelo de regressão logarítmica tem-se para SS ( $F = 0,96$ ;  $P = 0,3288$ ), SSS ( $F = 0,43$ ;  $P = 0,5142$ ), SI ( $F = 0,01$ ;  $P = 0,9137$ ).

Embora não haja diferença significativa de cada categoria nas respectivas classes de distância, a frequência de ocorrência de solo seco foi mais alta em relação ao solo saturado superficialmente e ao solo inundado. Isto justifica a correlação significativa e positiva de pinus com cone e solo seco apresentada abaixo.

### Correlação entre as variáveis

Complementarmente, para avaliar possíveis relações ecológicas da espécie (*Pinus elliottii*) com o meio, as variáveis foram relacionadas entre si (Tabela 1), por meio de Correlações de Spearman, dentro do intervalo de confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabela 1 – Resultado das correlações entre as variáveis pelo Coeficiente de Correlação de Spearman. Número total de parcelas = 122.**

Table 1 – Results of correlation between variables by Spearman Correlation Coefficient. Total number of plots = 122.

Variáveis	DIST	DNAT	DPCC	DPSC	ABNAT	ABPCC	SS	SSS	SI
DIST	1,00000	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
DNAT	-0,11518 0,2065	1,00000	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
DPCC	0,09386 0,3038	<b>-0,47202</b> <b>&lt;0,0001</b>	1,00000	-----	-----	-----	-----	-----	-----
DPSC	-0,00440 0,9617	<b>-0,49776</b> <b>&lt;0,0001</b>	<b>0,28114</b> <b>0,0017</b>	1,00000	-----	-----	-----	-----	-----
ABNAT	-0,09706 0,2876	<b>0,87614</b> <b>&lt;0,0001</b>	<b>-0,47536</b> <b>&lt;0,0001</b>	<b>-0,52190</b> <b>&lt;0,0001</b>	1,00000	-----	-----	-----	-----
ABPCC	-0,00667 0,9419	<b>-0,34876</b> <b>&lt;0,0001</b>	<b>0,94833</b> <b>&lt;0,0001</b>	<b>0,17892</b> <b>0,0486</b>	<b>-0,34766</b> <b>&lt;0,0001</b>	1,00000	-----	-----	-----
SS	0,03318 0,7167	0,00416 0,9638	<b>0,30826</b> <b>0,0006</b>	0,10812 0,2358	0,12885 0,1572	<b>0,35921</b> <b>&lt;0,0001</b>	1,00000	-----	-----
SSS	-0,12976 0,1543	<b>0,22012</b> <b>0,0148</b>	<b>-0,32022</b> <b>0,0003</b>	<b>-0,23391</b> <b>0,0095</b>	0,08775 0,3365	<b>-0,30078</b> <b>0,0008</b>	<b>-0,84906</b> <b>&lt;0,0001</b>	1,00000	-----
SI	-0,02339 0,7982	-0,08867 0,3314	<b>-0,26374</b> <b>0,0033</b>	-0,06732 0,4613	<b>-0,19530</b> <b>0,0311</b>	<b>-0,34167</b> <b>0,0001</b>	<b>-0,93442</b> <b>&lt;0,0001</b>	<b>0,69333</b> <b>&lt;0,0001</b>	1,00000

Em que: DIST = classes de distância. DNAT = Densidade de vegetação nativa. DPCC = Densidade de pinus com cone. DPSC = Densidade de pinus sem cone. ABNAT = Área basal de vegetação nativa. ABPCC = Área basal de pinus com cone. SS = Solo seco. SSS = Solo saturado superficialmente. SI = Solo inundado. Valores em negrito mostram resultados significativos ( $p < 0,05$ ).

Pelos resultados das análises da Correlação de Spearman, ficou demonstrado que todas as variáveis estudadas revelaram não possuir diferenças significativas nas classes de distância (DIST). Foi comprovado que não há diferenças no estabelecimento de *Pinus elliottii* entre as diversas distâncias estudadas.

Confirmou-se que a densidade de pinus com cone possui correlação negativa e significativa com a densidade e a área basal de vegetação nativa, com o solo saturado superficialmente e o solo inundado. E também, correlação positiva e significativa com a área basal de pinus com cone, com a densidade de pinus sem cone e com o solo seco.

Para a área basal de pinus com cone foi revelada a correlação negativa e significativa com a densidade e a área basal de vegetação nativa, com o solo saturado superficialmente e o solo inundado, e ainda correlação positiva e significativa com a densidade de pinus com cone, com a densidade de pinus sem cone e com o solo seco.

No tocante à densidade de pinus sem cone, ficou demonstrada correlação negativa e significativa com a densidade e a área basal de vegetação nativa e com o solo saturado superficialmente e, além disso, correlação positiva e significativa com a densidade e a área basal de pinus com cone. Não houve correlação significativa com o solo seco e o solo inundado.

## Conclusão

Na área ripária pesquisada, de acordo com os resultados de densidade de pinus com cone e de pinus sem cone, e ainda, pela correlação dessas densidades com o meio, comprovou-se que a distância não apresentou obstáculo para a propagação, estabelecimento e invasão de *Pinus elliottii* (pinus com cone e pinus sem cone) em todas as classes de distância estudadas.

Os resultados da pesquisa revelaram valor expressivo de densidade de pinus (média = 335) na área ripária estudada, na qual deveriam ocorrer somente espécies nativas. Esta situação já demonstra a gravidade deste problema ambiental para a conservação de espaços ripários.

A elevada densidade (178) de pinus com cone conduz à intensa chuva de sementes com dispersão secundária contínua na área ripária e posterior agravamento do processo invasivo.

O incremento na densidade de vegetação nativa conduziu à diminuição na abundância de pinus, porém, não impediu seu estabelecimento, inclusive com o recrutamento de plântulas e juvenis e futura substituição aos indivíduos decrépitos e mortos.

Ao se considerar a mesma densidade de pinus com cone e de vegetação nativa, o resultado foi área basal de pinus com cone oito vezes a de vegetação nativa. E, ainda, a área basal de pinus com cone foi condizente com aquela encontrada em plantios comerciais. Esta situação indica o elevado desenvolvimento pelo melhor uso de atributos ambientais, o que pode ter influenciado na competição do pinus sobre a vegetação nativa.

O solo seco está positiva e significativamente relacionado com a densidade e a área basal de pinus com cone, ou seja, ocorreu maior prevalência de ocupação por pinus com cone nesses espaços em detrimento das espécies nativas.

A partir dos resultados desta pesquisa conclui-se que os impactos ambientais causados pela invasão de *Pinus elliottii* recomendam sua imediata erradicação e manejo posterior contínuo contra a reinfestação.

## Agradecimentos

À Universidade de São Paulo, especialmente ao Programa de Pós-graduação em Recursos Florestais/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, pela assistência e orientação; ao engenheiro florestal Alex Miranda Ferreira, pela demarcação das parcelas e auxílio na obtenção de dados de campo e, ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, pela autorização da pesquisa. A todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho.

## Referências

- AQUINO, P. S. R. *et al.* Análise espacial da produtividade de serapilheira em uma mata de galeria. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 489-500, 2016.
- BECHARA, F. C. *et al.* Reproductive biology and early establishment of *Pinus elliottii* var. *elliottii* in Brazilian sandy coastal plain vegetation: implications for biological invasion. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 2, p. 88-92, 2013.
- BOURSCHEID, K.; REIS, A. Dinâmica da invasão de *Pinus elliottii* Engelm. em restinga sob processo de restauração ambiental no Parque Florestal do Rio Vermelho, Florianópolis, SC. **Biotemas**, Florianópolis, v. 23, n. 2, p. 23-30, 2010.
- CHYTRÝ, M. *et al.* Habitat invasions by alien plants: a quantitative comparison among Mediterranean, subcontinental and oceanic regions of Europe. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 45, n. 2, p. 448-458, 2008.
- CLAVERO, M.; GARCÍA-BERTHOU, E. Invasive species are a leading cause of animal extinctions. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, v. 20, n. 3, p. 110, 2005.

- DOGRA, K. S. *et al.* Alien plant invasion and their impact on indigenous species diversity at global scale: A review. **Journal of Ecology and Natural Environment**, Sapele, v. 2, n. 9, p. 175-186, 2010.
- FARIAS, L. N.; SILVA, N. M.; BARBOSA, D. S. Parâmetros microclimáticos e atributos químicos e físicos do solo em área de preservação permanente situada na cabeceira do rio São Lourenço, Campo Verde – MT. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 1, p. 83-99, jan./mar. 2012.
- FINE, P. V. A. The invasibility of tropical forests by exotic plants. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 18, n. 5, p. 687-705, 2002.
- FLAUCH, F. D. **Crescimento juvenil da regeneração de *Pinus elliottii* Eng. var. *elliottii* sob classes de desbaste no litoral norte do Rio Grande do Sul**. 2007. 57 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia, Área de Concentração Horticultura) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- GILBERT, B.; LECHOWICZ, M. J. Invasibility and abiotic gradients: the positive correlation between native and exotic plant diversity. **Ecology**, Ithaca, v. 86, n. 7, p. 1848-1855, 2005.
- HOOD, W. G.; NAIMAN, R. J. Vulnerability of riparian zones to invasion by exotic vascular plants. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 148, n. 1, p. 105-114, 2000.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário IBÁ – 2015**. Disponível em: [www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-iba\\_2015.pdf](http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-iba_2015.pdf). Acesso em: 3 jul. 2016.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Plano de Manejo da Floresta Nacional de Capão Bonito – Diagnóstico**. Versão preliminar. Capão Bonito: ICMBio, 2017. 198 p.
- LIESENFELD, M. V. A.; PELLEGRIM, L. M. **Risco ecológico: a invasão por pinus e a problemática das espécies alienígenas no Parque Estadual de Itapuã – Viamão, RS**. Pelotas: Instituto Gaúcho de Estudos Ambientais, 2004. 9 p.
- LIMA, G. S.; ZILLER, S. R. Proteção em unidades de conservação. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, 3., 2002, Fortaleza. **Anais[...]** Fortaleza: Rede Nacional Pró- Unidades de Conservação; Fundação O Boticário de Proteção da Natureza, 2002. p. 853-854.
- MAHMOUD, A. G. E. *et al.* **Invasão de *Pinus elliottii* em um fragmento de Cerrado em Itirapina – SP**. Campinas: UNICAMP, Instituto de Biologia, Departamento de Botânica, 2003. 11 p.
- MENON, T. A.; CARVALHO, F. A. Estrutura populacional de *Pinus elliottii* em áreas de regeneração florestal em Juiz de Fora, MG. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 72, p. 367-372, out./dez. 2012.
- MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, p. 853-858, 2000.
- PLANTY-TABACCHI, A. M. *et al.* Invasibility of species-rich communities in Riparian Zones. **Conservation Biology**, Boston, v. 10, n. 2, p. 598-607, 1996.
- PRATA, E. M. B.; PINTO, S. A. F.; ASSIS, M. A. Fitossociologia e distribuição de espécies arbóreas em um floresta ribeirinha secundária no município de Rio Claro, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 159-168, abr./jun. 2011.
- RICHARDSON, D. M.; HIGGINS, S. I. Pines as invaders in the southern hemisphere. *In*: RICHARDSON, D. M. (Ed.). **Ecology and biogeography of pines**. Cambridge: Cambridge University press, 1998. p. 450-473.
- RICHARDSON, D. M. *et al.* Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. **Diversity and Distributions**, Oxford, v. 13, n. 1, p. 126-139, 2007.
- SCHOLES, M. C.; NOWICKI, T. E. Effects of pines on soil properties and processes. *In*: RICHARDSON, D. M. (Ed.). **Ecology and biogeography of pines**. Cambridge: Cambridge University press, 1998. p. 341-353.
- SIMBERLOFF, D. *et al.* Spread and impact of introduced conifers in South America: lessons from other southern hemisphere regions. **Austral Ecology**, Carlton, v. 35, n. 5, p. 489-504, 2010.

- TONINI, H. **Crescimento em altura de *Pinus elliottii* Engelm., em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da Serra do Sudeste e Litoral, no estado do Rio Grande do Sul.** 2000. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.
- VIRTUE, J. G.; MELLAND, R. L. **The environmental weed risk of revegetation and forestry plants.** Adelaide: The department of water, land and biodiversity conservation, 2003. 184 p.
- VOLTOLINI, J. C.; ZANCO, L. Densidade de plântulas e jovens de espécies nativas de Floresta Atlântica em áreas com e sem pinheiro americano (*Pinus elliottii*). **Revista Biociências**, Taubaté, v. 16, n. 2, p. 102-108, 2010.
- WESTBROOKS, R. G. **Invasive plants: changing the landscape of America: fact book.** Washington: Federal Interagency Committee for the Management of Noxious and Exotic Weeds, 1998. 109 p.
- WOLFE, B. E.; KLIRONOMOS, J. N. Breaking new ground: soil communities and exotic plant invasion. **BioScience**, Washington, v. 55, n. 6, p. 477-487, 2005.
- ZENNI, R. D.; SIMBERLOFF, D. Number of source populations as a potential driver of pine invasions in Brazil. **Biological Invasions**, Knoxville, v. 15, n. 7, p. 1623-1639, 2013.
- ZENNI, R. D.; ZILLER, S. R. An overview of invasive plants in Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 431-446, 2011.
- ZILLER, S. R. **A Estepe Gramíneo-Lenhosa no segundo planalto do Paraná: diagnóstico ambiental com enfoque à contaminação biológica.** 2000. 242 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- ZILLER, S. R. Plantas exóticas invasoras: a ameaça da contaminação biológica. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 30, n. 178, p. 77-79, 2001.
- ZILLER, S. R.; DECHOUM, M. S. Plantas e vertebrados exóticos invasores em Unidades de Conservação. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, v. 3, n. 2, p. 04-31, 2013.
- ZILLER, S. R.; GALVÃO, F. A degradação da estepe gramíneo-lenhosa no Paraná por contaminação biológica de *Pinus elliottii* e *P. taeda*. **Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 1, p. 41-47, 2002.
- ZURITA, Z. A. *et al.* Conversion of the Atlantic Forest into native and exotic tree plantations: effects on bird communities from the local and regional perspectives. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 235, n. 1/3, p. 164-173, 2006.