

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Avaliação fotossintética de Carvalho-vermelho-do-norte (*Quercus rubra* L.)  
e castanheira americana (*Castanea dentata* (Marshall) Borkh) sob diferentes  
intensidades de luz e mato competição**

**Pedro Vitor Pimenta Pereira**

**Piracicaba  
2016**

**Pedro Vitor Pimenta Pereira**

**Avaliação fotossintética de Carvalho-vermelho-do-norte (*Quercus rubra* L.) e Castanheira americana (*Castanea dentata* (Marshall) Borkh) sob diferentes intensidades de luz e mato competição**

**Orientador:** Prof. Dr. Pedro Brancalion

**Coorientadores:** Prof. Dr. Douglass Jacob  
Mestranda Jennifer Lesko

Trabalho de conclusão de curso - Ensaio Técnico-apresentado ao Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Florestal.

**Piracicaba  
2016**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me concedeu saúde, dedicação e a oportunidade única de estudar na ESALQ-USP.

À minha mãe Luciana, ao meu pai Pedro e a minha irmã Ana Paula por todo apoio, confiança e amor incondicional.

Aos meus avós, espelhos do trabalho, honestidade, humildade e base sólida familiar.

Aos tios e tias, primos e primas que torceram e vibraram pelas minhas conquistas.

À Eng.<sup>a</sup> Florestal Carolina Kravetz (Pedrita), pela grande companhia e amizade durante esses anos.

Ao Prof. Dr. Pedro Henrique Santin Brancalion (Xará), pela oportunidade, orientação e boas aulas que marcaram o período acadêmico.

Ao Prof. Dr. Douglass Jacobs, pela oportunidade de realizar este trabalho na Purdue University.

À mestranda Jennifer Lesko, pela paciência, confiança e ensinamentos durante essa oportunidade de estágio na Purdue University.

A todos os professores e funcionários do departamento de ciências florestais (LCF) e funcionários das estações experimentais (Anhumas, Anhembí e Itatinga) que colaboraram de alguma maneira no desenvolvimento dos meus estudos.

Aos pesquisadores e pós-graduandos pelas oportunidades de aprender algo novo.

À Casa do Estudante Universitário (CEU), por ter me dado uma nova família de guerreiros.

Ao Grupo Florestal Monte Olimpo, por conceder uma bagagem recheada de trabalho e suor, amizades, oportunidades e muito aprendizado.

Ao Grupo de Oração Universitário (GOU), pela amizade e principalmente pela renovação da fé cristã.

A TODOS meus amigos que passaram por momentos de dificuldades e de alegria nessa caminhada. Em especial, Marcos Mendes (Bauduco), Lucas Finardi (Leiteira) e José Carlos (Zé) pela convivência próxima.

Enfim, a todos aqueles que me desejaram o bem e boa sorte, meu muito obrigado!

## Sumário

RESUMO .....	5
1.0 INTRODUÇÃO .....	6
2.0 OBJETIVOS .....	8
2.1 Objetivo Geral.....	8
2.2 Objetivos específicos .....	8
3.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	8
3.1 O setor florestal Norte Americano .....	8
3.2 Espécies avaliadas.....	10
3.3 Fotossíntese.....	13
4.0 MATERIAL E MÉTODOS .....	15
4.1 Área de estudo.....	15
4.2 Delineamento experimental .....	16
4.2 Medições dendrométricas .....	18
4.3 Avaliações edafoclimáticas e fotossintéticas .....	19
4.3.1 Umidade do Solo.....	19
4.3.2 Temperatura .....	19
4.3.3 Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) .....	19
4.3.4 Fotossíntese.....	20
4.3.5 Estresse hídrico .....	21
4.3.6 Análise estatística.....	22
5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	22
5.1 Estabelecimento e desenvolvimento das espécies .....	22
5.1.1 Sobrevivência.....	20
5.1.2 Crescimento.....	24
5.2 Umidade do Solo.....	26
5.3 Estresse hídrico .....	27
5.4 Temperatura .....	29
5.5 Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) .....	30
5.6 Fotossíntese.....	31
6.0 CONCLUSÕES .....	38
7.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

## RESUMO

Embora amplamente distribuídas no estado da Indiana e em outros estados do meio oeste Americano, as plantações de coníferas consistem em grande parte de espécies exóticas que não agregam nenhum valor para a indústria de produtos florestais do estado. A fim de se converter esse cenário, este trabalho teve como objetivo gerar informações e prescrições silviculturais específicas que possam auxiliar na conversão plantações de coníferas em espécies folhosas com maior valor agregado. Quantificar a taxa de fotossíntese de uma planta consiste em uma importante ferramenta que pode nos auxiliar a discernir os melhores métodos para implementar a conversão das coníferas. Para isso, mudas de duas espécies nativas, o Carvalho-vermelho-do-norte (*Quercus rubra* L.) e a Castanheira americana (*Castanea dentata* (Marshall). Borkh), foram distribuídas entre três diferentes tratamentos silviculturais de corte (controle, desbaste e corte raso). Dentro de cada tratamento, foram instalados dois sub-tratamentos (com controle e sem controle das plantas daninhas) que visam estudar a competição de plantas invasoras com as plântulas. Foram avaliadas a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e a capacidade fotossintética, para avaliar a eficiência na utilização dos recursos (água e luz) e a produtividade. *Castanea dentata* apresentou o maior crescimento em altura e diâmetro do que *Quercus rubra*, principalmente no tratamento de desbaste. Ambas as espécies apresentaram a maior taxa fotossintética (Amax) sob condições de alta disponibilidade de luz (corte raso), embora a castanheira tenha apresentado uma maior taxa de fotossíntese do que *Quercus rubra*. Entre os tratamentos estudados, o corte raso apresentou a maior intensidade de PAR, seguido por desbaste e controle. Não foram encontradas diferenças significativas para a fotossíntese entre as duas espécies entre os sub-tratamentos de mato-competição. Pode-se concluir que a espécie *Castanea dentata* mostrou maior produtividade e fotossíntese do que *Quercus rubra*, além de apresentar também uma menor mortalidade. O tratamento de desbaste apresentou como uma boa alternativa de manejo para o plantio das espécies. Os resultados deste estudo serão utilizados para fornecer importantes prescrições silviculturais para os proprietários de terras, profissionais do setor florestal, bem como órgãos estaduais e federais em Indiana e em outros estados do Centro-Oeste Americano.

**Palavras-chave:** Conversão de florestas; fotossíntese; *Castanea dentata*; *Quercus rubra*

## 1 INTRODUÇÃO

Localizada nos Estados Unidos da América (EUA), a Indiana é 38º maior estado em área territorial e o 16º mais populoso dos 50 estados pertencentes ao país. De acordo com o último censo da U.S.Census Bureau (2015), sua população foi contabilizada em 6.649.680 de pessoas. O estado também é conhecido mundialmente por estar situado na região chamada de “Corn belt” e “Grain Belt”, sendo estes locais de produção em grande escala das culturas de milho e soja (SMITH, 2004).

Embora Indiana seja conhecida por abranger grandes campos de milho e soja, sendo a primeira no setor agrícola do estado, as florestas do estado estão entre as mais diversificadas e produtivas do país. Além de fornecerem benefícios naturais e sociais, as mesmas conferem grande vantagem econômica. Como exemplo, destaca-se a indústria de produtos florestais que ocupa a quinta posição no setor de indústrias (ISDA, 2005; WOODALL et al., 2005).

Em 1800, a cobertura florestal no estado de Indiana compreendia cerca de 85% de sua área total. No entanto, o intenso desmatamento e a conversão de florestas naturais para agricultura resultaram em uma drástica queda na cobertura florestal do estado, fazendo com que a mesma atingisse 7% em 1900 (TORMOEHLLEN et al., 2000; CARMAN, 2013). Com a mudança do uso do solo, começaram a surgir os problemas ambientais tais como erosão e perda de biodiversidade da fauna e flora nativa. Com isso, alguns esforços foram feitos para mitigar a situação por meio de programas criados pelo governo americano, sendo dois de grande destaque: *The Civilian Conservation Corps* (CCC) e o *Works Progress Administration* (WPA). Ambos tinham como objetivo atuar em diversos projetos de reflorestamento, prevenção e supressão de incêndio, controle de erosão e construções de parques estaduais (GJESTSON, 2013).

Os programas começaram nos anos 30's e continuaram por várias décadas. O estado passou por um intenso período de plantio de árvores com o principal intuito de restauração. Entretanto, devido à falta de espécies folhosas (hardwoods) nos viveiros, os projetos de restauração quase que exclusivamente utilizaram coníferas (White pine, Red

pine, Jack pine e Short-leaf-pine), pois estes já possuíam mudas com protocolos estabelecidos e estavam prontamente disponíveis. Contudo, as mesmas não são espécies nativas e tinham uma distribuição muito limitada no estado de Indiana (DUMROESE et al., 2005).

Somente na década de 70, os viveiros florestais em Indiana iniciaram a produção de mudas de espécies folhosas, sendo que estas espécies são de grande interesse para plantio até os dias atuais (JACOBS et al., 2004). Naquela época, os viveiros do serviço florestal americano foram fundamentais para o reflorestamento das terras públicas, agindo como grandes fornecedores de mudas as quais foram identificadas e adaptadas para cada região (DUMROESE et al., 2005). Atualmente, o estado da Indiana ainda apresenta cerca de 20% de sua área coberta por florestas (1,8 milhões de ha) as quais são destinadas à produção e à conservação (ROSS-DAVIS et al., 2005).

Estima-se que aproximadamente 27 mil hectares de plantações de coníferas não nativas ainda são remanescentes em Indiana, distribuídas em todo o estado (USDA, 2013). A maioria desses sítios já apresentam mais de 40 anos de idade, podendo ser cortados e manufaturados nas serrarias para produção de bens florestais (ex: madeira serrada). No entanto, além do estado apresentar uma indústria de base florestal com foco em madeiras de alto valor e também possuir um mercado muito limitado para coníferas, há muito pouco incentivo aos proprietários de terras privadas para realizar a colheita (BRATKOVICH et al., 2004).

De acordo com Tormoehlen et al., (2000), esses proprietários controlam 85% dos 1,8 milhões de hectares cobertos por florestas. Ao passo que a pressão para conservação das florestas públicas vem aumentando, os proprietários tornam-se cada vez mais importante no quesito de abastecimento de madeira do estado (KNIGHT, 1999).

Simultaneamente, além da falta de mercado para as coníferas, nas últimas décadas a composição florestal em Indiana vem sofrendo fortes mudanças. E, espécies nativas como o *Quercus rubra* e outras espécies estão sendo seletivamente cortadas e substituídas por espécies mais tolerantes à sombra, de baixo valor comercial (*Acer rubrum*, *Acer saccharum*, *Cornus florida*, *Fagus grandifolia* e *Fagus sylvatica*) . Junto a isso, pragas e patógenos exóticos têm sido um grande fator de pressão sobre espécies

folhosas nativas, como por exemplo, *Castanea dentata* que corre risco de extinção (JOHNSON et al., 2002).

Este estudo busca realizar e compreender a conversão de coníferas exóticas, que apresentam baixo valor comercial e ambiental, para uma floresta composta por espécies nativas (incluindo espécies ameaçadas) com maior valor agregado. Além disso, os plantios experimentais e os resultados alcançados nesse projeto serão utilizados para demonstrar aos proprietários de terras não industriais como técnicas de silvicultura e manejo florestal, combinados com práticas de restauração podem atuar no processo de conversão de área com espécies coníferas exóticas em áreas de espécies folhosas nativas.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

Desenvolver prescrições silviculturais para a conversão de plantações de coníferas (*Pinus strobus*) por florestas de madeiras de lei nativas (*Castanea dentata* e *Quercus rubra*) que possam gerar informações úteis para subsidiar os proprietários de terra no processo de conversão.

### **2.2 Objetivos específicos**

- i) identificar tratamentos silviculturais (plantio, desbaste, e controle de mato-competição) que possam facilitar e acelerar a conversão;
- ii) comparar taxas fotossintéticas de duas espécies nativas dos Estados Unidos (*Quercus rubra* L. e *Castanea dentata*) dos Estados Unidos em fase inicial de crescimento para avaliar a adaptação, fisiologia e produtividade;
- iii) avaliar diferentes intensidades de luz e seus efeitos na fotossíntese, crescimento e alocação de biomassa de acordo com características que cada tratamento oferece.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 O setor florestal Norte Americano**

Estima-se que, em aproximadamente quatro séculos os Estados Unidos sofreram uma redução de 115 milhões na sua cobertura florestal. Em 1630 a cobertura representava 420 milhões de hectares ou 46% de sua área terrestre. Já em 1910, devido à conversão

dessas florestas para a agricultura e outros usos, a área florestal correspondia a apenas 34%. O último censo realizado em 2012, estimou que o País ainda possui uma cobertura florestal de 310 milhões de hectares ou 33% de sua área total (USDA, 2014).

Desses 310 milhões de hectares coberto por florestas, 56% são de propriedades privadas (localizadas mais a leste) e 44% são de propriedade pública (localizadas mais a oeste) (Figura 1). A maior parte das propriedades privadas estão nas mãos de famílias (62%) também chamadas de “florestas familiares”, seguida por corporações, organizações de conservação e outros. Já as propriedades públicas estão administradas em sua maioria pelo governo federal (76%), acompanhados por gestão estatal e municipal, parques, agências da fauna e governos locais (USDA, 2014).

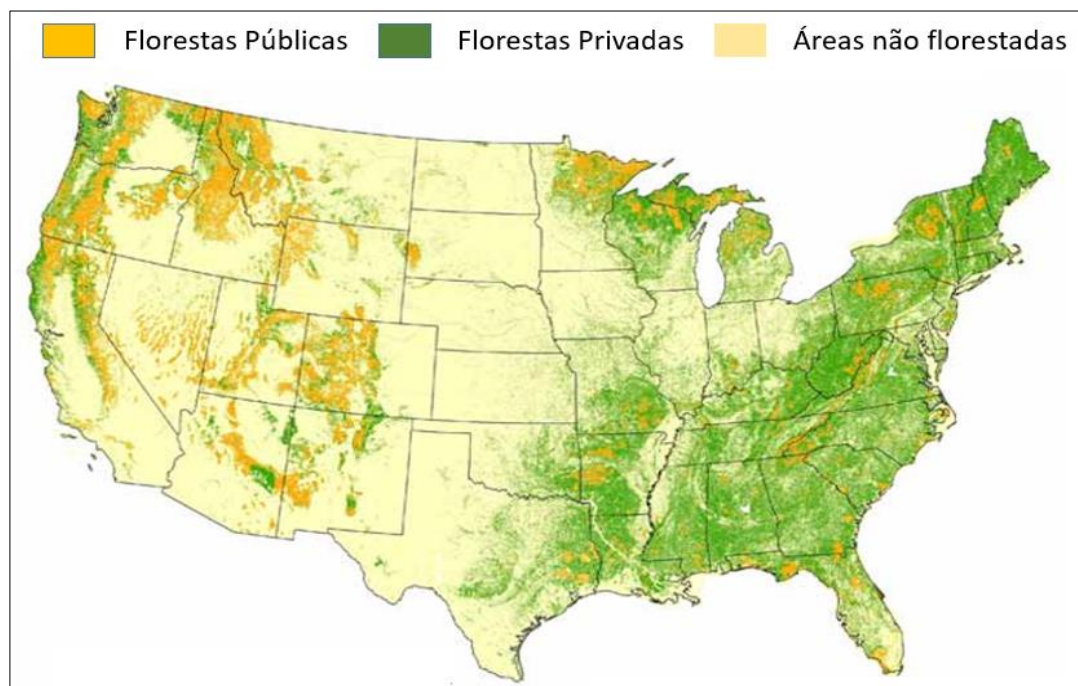


Figura 1. Divisão da cobertura florestal com distinções entre florestas públicas e privadas nos Estados Unidos (USDA, 2014).

As propriedades familiares são responsáveis por mais de 90% da madeira colhida nos Estados Unidos, destinada para a construção de casas, fabricação de móveis, produção de papel e outros produtos de madeira. As florestas federais fornecem apenas 2% da madeira utilizada pela indústria de produtos florestais. Um censo realizado em 2011, apontou que os Estados Unidos exportaram US\$7,8 bilhões e importaram US\$10,8 bilhões

em produtos florestais. O Canadá foi o maior comprador e exportador de produtos florestais dos EUA (BURDEN, 2012).

Segundo a Associação da Indústria Papeleira e Florestal dos Estados Unidos, o setor de produtos florestais dos EUA emprega cerca de 1 milhão de trabalhadores e representa cerca de 6% do Produto Interno Bruto (PIB) do país. A indústria de produtos florestais está entre as 10 principais empregadoras do setor de fabricação dos 48 estados continentais, gerando mais de US\$ 200 bilhões por ano em vendas e cerca de US\$ 54 bilhões em folha de pagamento anual (USDA, 2014).

### 3.2 Espécies avaliadas

A (*Castanea dentata* (Marsh.) Borkh.; Figura 2) é uma espécie clímax que ocupava as florestas decíduas do leste dos Estados Unidos, localizadas entre os estados de Maine até o Mississippi e também da Indiana ao Tennessee, com uma área natural superior a 80.000.000 ha (Figura 3) (JACOBS et al., 2016).



Figura 2. Imagem da espécie *Castanea dentata* com folha, fruto e semente. FONTE: <https://gltrust.org/initiatives/american-chestnut-trees-return-to-greenwich/>

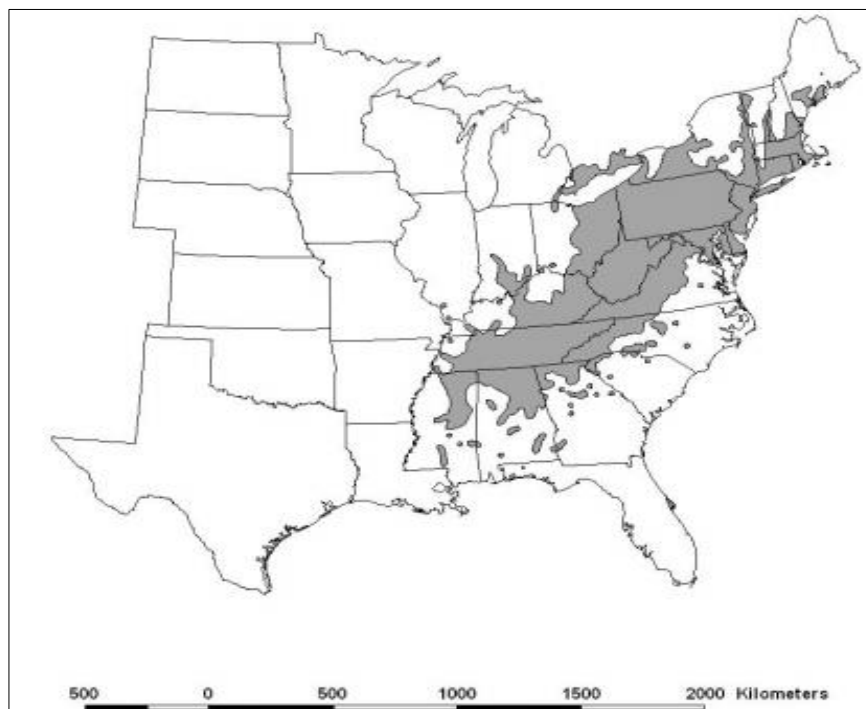


Figura 3. Distribuição geográfica de *Castanea dentata* em seu habitat natural de ocorrência. Fonte: Jacobs, 2007).

Espécie pertencente à família Fagaceae, com folhas alternadas e florescimento entre junho e julho, a *Castanea dentata* costumava alcançar mais de 24 metros em altura, porém a maioria dos indivíduos da espécie, hoje encontra-se em rebrota com fustes com altura de 5 a 10 metros devido ao ataque do Cancro-da-castanheira (*Cryphonectria parasitica*) (JACOBS et al., 2016).

Em 1904, em Nova York, houve o reconhecimento do cancro da castanheira, um fungo introduzido através da importação de uma castanheira japonesa (*Castanea crenata*), o qual destruiu grande parte dos indivíduos naquela época (TINDALL et al., 2004; DALGLEISH & SWIHART, 2012). Os remanescentes da *Castanea dentata* têm convivido com a castanheira chinesa (*Castanea molíssima* Blume), uma espécie resistente a esse fungo. A fim de se reverter essa situação, estão sendo feitos programas de melhoramento entre essas duas espécies, obtendo-se árvores da *Castanea dentata* resistentes ao fungo causador do cancro (DISKIN et al., 2006).

O *Quercus rubra* L. (Figura 4), ocorre do estado da Nova Escócia no Canadá até o leste de Minnesota, sul do Arkansas e Norte da Georgia (Figura 5). Essa espécie pode ser encontrada em diversos habitats (FOREST SERVICE US, 2002).

Pertencente à família Fagaceae, possui folhas alternadas e cresce até uma altura de 18 a 21 metros. Esta é uma das espécies nativas de carvalho mais comum na “região

central das folhosas”, nos estados de Indiana, Illinois e Ohio, contudo sua regeneração está em declínio (LORIMER, 1984)



Figura 4. Imagem da espécie *Quercus rubra*. Fonte: FOREST SERVICE U.S. (2002).

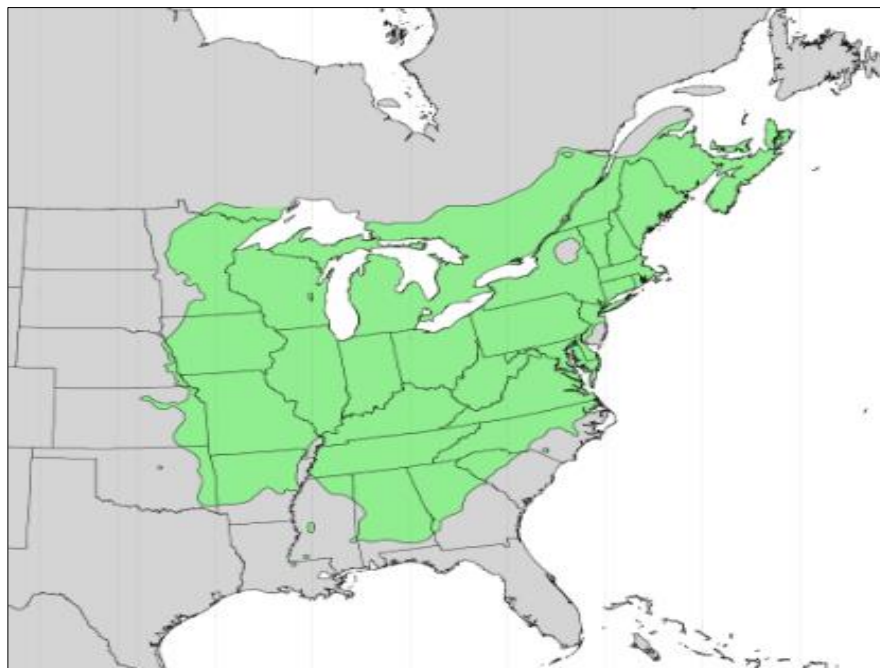


Figura 5. Distribuição natural da espécie *Quercus rubra*. Fonte: USGS (1971).

A *Castanea dentata*, assim como o *Quercus rubra*, prefere solos com pH baixo, baixa fertilidade e com alta ocorrência de incêndios. As áreas de ocorrência de povoamentos de *Pinus* possuem estas características, sendo locais ideais para a

restauração de espécies ameaçadas de extinção e para a regeneração de espécies nativas (KIM et al., 1996; DUFFY, 2014).

Alguns estudos mostram que as plântulas de *Quercus rubra* tiveram um bom desenvolvimento em florestas de Red pine (KIM et al., 1996; HARTMAN et al., 2005;). Já as plântulas da *Castanea dentata* não são tolerantes ao frio, e possuem também um melhor desenvolvimento junto a espécies de *Pinus*, pois esta mantém suas folhas durante o inverno, protegendo as plântulas da geada (HARTMAN et al., 2005).

A *Castanea dentata* e o *Quercus rubra* possuem comportamentos diferentes com relação a tolerância à sombra, estratégia de crescimento e alocação de biomassa; mas historicamente compartilhavam os mesmos locais antes da ocorrência do cancro da Castanheira (VAN DE GEVEL & HART, 2012). As duas espécies plantadas juntas, em áreas de conversão, podem ser uma combinação viável.

Outra vantagem da implantação destas espécies é que a madeira serrada da *Castanea dentata* é uma das que possui maior valor agregado. É uma madeira versátil que pode ser utilizada para diversos fins, além de possuir um rápido crescimento (FREINKEL, 2007). Ao mesmo tempo, de acordo com USDA (2003) o *Quercus rubra* é uma madeira fácil de ser processada e aceita uma variedade de acabamentos. Pode ser utilizada para móveis, painéis e pisos, como também em implementos agrícolas e postes.

Desta forma, a conversão de áreas de coníferas, principalmente de *Pinus*, pode ser uma oportunidade para a restauração de espécies nativas de folhosas como a *Castanea dentata* e o *Quercus rubra*, inclusive por ambas possuírem um maior valor agregado como produto florestal.

### 3.3 Fotossíntese

A fotossíntese é um processo que ocorre em plantas, algas e bactérias fotossintetizantes. Através da energia do sol, estes seres convertem dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água (H<sub>2</sub>O) em moléculas orgânicas que podem ser utilizadas por plantas e animais como fontes de energia e de moléculas estruturais. Um produto desta reação, é a produção de oxigênio (O<sub>2</sub>), que exerce papel importante na respiração celular e na síntese de ATP (RAVEN et al., 1999).

O processo fotossintético é dividido em duas fases: I) fase fotoquímica, que é relacionada à absorção da radiação fotossinteticamente ativa pela clorofila e utilização da energia provinda da luz para formar ATP e NADPH; e II) fase de fixação de CO<sub>2</sub> e de formação de compostos orgânicos, por meio do ATP e do NADPH (CARNEIRO, 2013).

A atividade fotossintética é afetada por diversos fatores, tais como: intensidade luminosa, temperatura, concentração de CO<sub>2</sub> e umidade do solo. Esses fatores também são influentes em outras dinâmicas que ocorrem nas plantas. (COSTA e MARENCO, 2007).

A intensidade da luz e o estado de hidratação da folha, estão relacionados ao processo de abertura e fechamento dos estômatos. A luz está relacionada com a primeira fase da fotossíntese conhecida como fotólise da água. Já a hidratação da folha faz com os estômatos entrem em fase de turgescência pelo iniciam-se o processo de trocas gasosas (COSTA e MARENCO, 2007). A faixa luminosa que é responsável pelas reações fotossintéticas nas plantas é chamada de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), que é a fração compreendida entre 400 e 700 nm (TAIZ e ZEIGER, 2013). Sob diferentes condições de luz, a resposta fotossintética das folhas reflete a capacidade de uma planta em crescer sob diferentes ambientes luminosos.

Outro fator importante para a fotossíntese é a temperatura, que afeta todas as reações químicas (TAIZ E ZEIGER, 2013). As taxas fotossintéticas elevam-se em resposta ao aumento de temperatura, até uma temperatura ótima no qual as etapas da fotossíntese estão equilibradas. Quando esta temperatura é ultrapassada as taxas fotossintéticas decrescem novamente. Esta temperatura ótima varia com relação às espécies e ao ambiente em que são cultivadas, pois as plantas são seres extraordinariamente plásticos em suas adaptações à temperatura.

Quando se trata da umidade do solo, e este encontra-se com baixa disponibilidade hídrica, as plantas possuem um mecanismo para diminuir a perda de água através da redução da condutância estomática. Quando a planta perde água em uma taxa superior à sua capacidade de absorção e transporte, atinge um baixo potencial hídrico nas folhas e os estômatos se fecham, reduzindo a taxa fotossintética. Presume-se que este processo também ocorra nos horários mais quentes do dia, a fim de se evitar que o potencial hídrico fique abaixo dos níveis críticos para a estabilidade de transporte de água (COSTA e MARENCO, 2007).

Desta forma, quando há uma pobre correlação entre fotossíntese e condutância estomática, pode indicar a ausência de uniformidade na abertura dos estômatos na

superfície da folha, tornando esta relação complexa e não linear (COSTA e MARENCO, 2007).

Quando o manejo da vegetação reduz a área basal e a cobertura do dossel pelas árvores (desbaste), diferentes impactos ocorrem sobre o balanço e potencial hídrico, tais como, redução da interceptação da água da chuva, redução de consumo à água do solo, e também redução da evapotranspiração no sítio (Aussenac, 2000).

O delineamento a ser instalado nesse trabalho envolve o corte de árvores adultas e plantio de mudas com diferentes manejos silviculturais. Com isso, dois fatores podem ser influenciados na fisiologia das espécies em estudo. O primeiro fator corresponde a disponibilidade de água no solo e na planta. Com a falta ou excesso de água, aspectos como potencial hídrico, transpiração e condutância estomática podem ser alterados. O segundo fator está relacionado com a intensidade de luz que chega até as espécies plantadas. É esperado que a falta de radiação solar possa influenciar de maneira negativa no crescimento da espécie menos tolerante à sombra. Cabe ressaltar que ambos os fatores estão ligados à taxa fotossintética e ao desenvolvimento de cada espécie a ser estudada nesse trabalho.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Área de estudo**

Duas fazendas experimentais que pertencem à Universidade de Purdue foram escolhidas para realização do projeto, sendo elas conhecidas como Martell e Cunningham.

Situadas no centro-oeste americano, Martell está localizado na região conhecida como “Tippecanoe” County (40°25'58.15"Norte, 87°02'19.75"Oeste). A fazenda Martell contém um total de 193 hectares sendo que 161 destes compõe uma área coberta por florestas. A mesma fica a 13,6 km da Universidade de Purdue, no campus de West Lafayette. A fazenda Cunningham também está localizada em Tippecanoe County (40°14'39.16"Norte, 86°49'41,31" Oeste), a 26 km de Purdue, ocupa uma superfície de 45 hectares nos quais 32 hectares estão cobertas por florestas.

Os solos das duas fazendas são classificados na ordem dos argissolos com granulometria com variações de franco argilo-arenoso a franco siltoso. Devido à declividade de 2 a 6%, na época chuvosa, o solo pode sofrer com o processo erosivo. A região apresenta precipitação média anual e temperatura média anual de 900 a 1000 mm e

de 10 a 13 graus °C respectivamente, com períodos de 150 a 180 dias livre de geada (USDA, 2015).

#### 4.2 Delineamento experimental

Nas duas fazendas três sítios experimentais foram instalados, nomeados como Martell 1, Martell 2 e Cunningham. Cada um destes sítios possui 564 m<sup>2</sup>, compostos por uma floresta plantada de *Pinus strobus* L. com aproximadamente 40 anos de idade.

Para a instalação dos experimentos, durante os meses de fevereiro a maio de 2014 três tratamentos silviculturais com diferentes intensidades de corte (controle, desbaste e corte raso) foram aplicados a cada sítio experimental; o que, conseqüentemente representou uma variação na percentagem remanescente de *Pinus strobus* (100, 50 e 0% respectivamente), como também, na disponibilidade de luz e dos recursos disponíveis em cada um (Figura 7a). Como parâmetro, adotou-se a orientação Norte-Sul nas instalações dos tratamentos para minimizar o efeito de sombra.



Figura 7a. Tratamentos silviculturais e sub tratamentos aplicados na fazenda Martel 1 (40°25'58.15"N, 87°02'19.75"O) sendo **A**) Tratamento controle (sem remoção de *Pinus strobus* L. , **B**) Tratamento desbaste (remoção de 50% de *Pinus strobus* L.) e **C**) Tratamento corte raso (remoção total de *Pinus strobus* L.). As linhas amarelas significam a divisão dos sub-tratamentos e os círculos vermelhos as espécies plantadas.

Após os cortes ter sido realizados, em junho de 2014, 25 mudas de *Quercus rubra* e 22 da *Castanea dentata* (total de 47 mudas) com tamanho inicial de 55 cm foram

plantadas sob cada tratamento (Figura 7b). As mudas foram dispostas de maneira aleatória, sendo misturadas, seguindo um arranjo de 2 x 2 m de distância entre elas. No total, 432 mudas foram introduzidas para o estudo (47 mudas x 3 tratamentos silviculturais x 3 sítios experimentais).

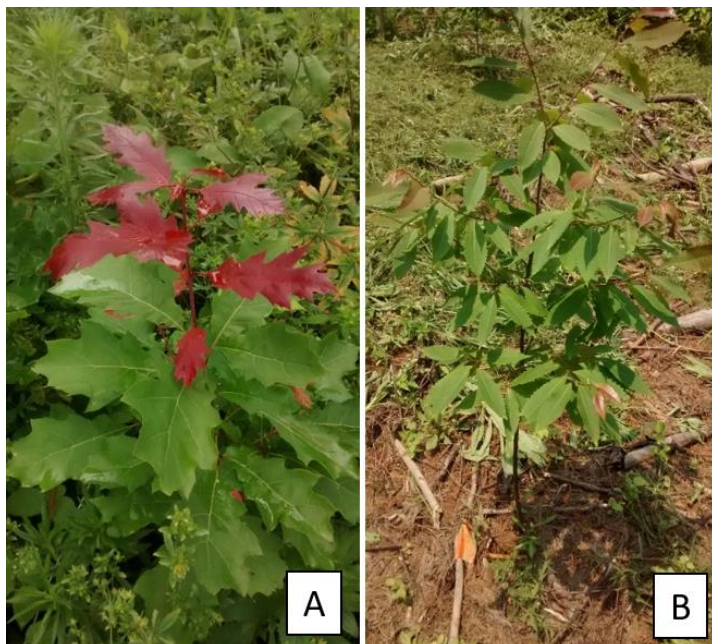


Figura 7b. Espécies avaliadas no estudo. **A)** *Quercus rubra* L. sob competição de plantas invasoras no entorno. **B)** *Castanea dentata* (Marshall) Borkh.

Além disso, em cada tratamento foram implementados dois sub-tratamentos com duas categorias distintas de remoção das plantas invasoras, sendo 50% da área com mato competição e 50% sem mato competição (Figura 7c). O controle e remoção das ervas daninhas foram realizadas desde o início do plantio e irá permanecer durante todo o experimento.

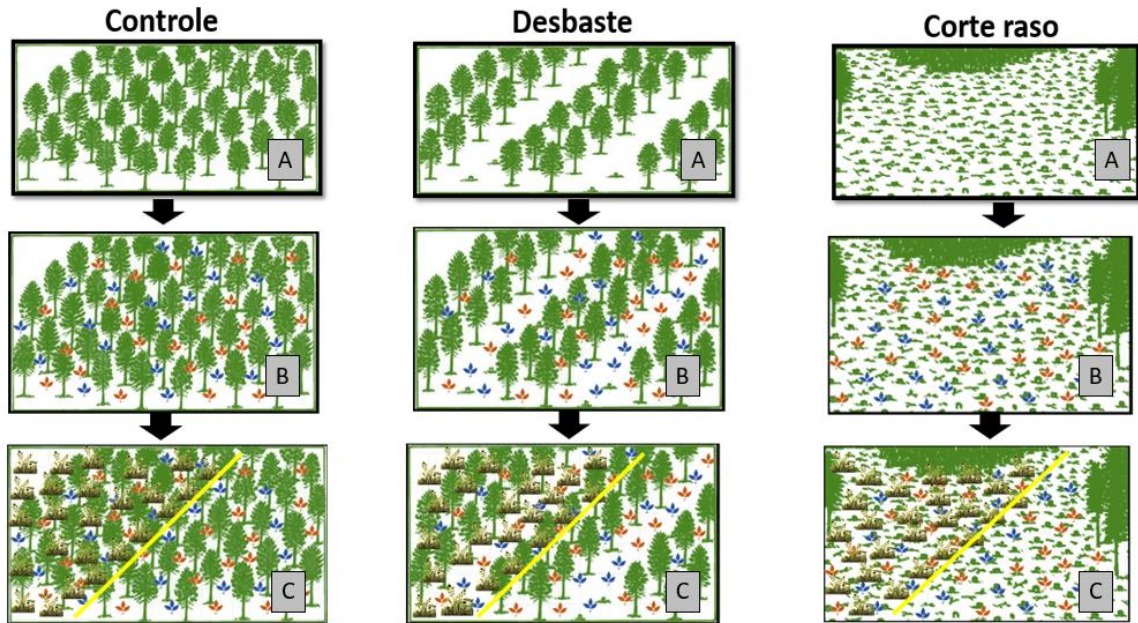


Figura 7c. Delineamento com os três diferentes tratamentos silviculturais e sub-tratamentos aplicados em cada sítio experimental. A) Diferença na intensidade de corte de *Pinus strobus* L.; B) Plantio das duas espécies *Quercus rubra* L. e *Castanea dentata* (Marshall) Borkh.; C) Sub-tratamentos separados pela linha amarela indicando remoção parcial das plantas invasoras.

Finalmente, foram instaladas cercas de dois metros de altura no entorno de cada tratamento para impedir herbivoria e outros danos contra às mudas recém-plantadas e contra às plantas daninhas.

### 4.3 Medições dendrométricas

Índice de sobrevivência, altura (cm), diâmetro de colo (mm) das mudas foram medidos durante dois anos. As medições ocorreram em junho e no final da estação de crescimento (outubro), completando quatro medições no total após quinze meses do plantio das espécies. Durante esse período, algumas mudas sofreram danos físicos e bióticos e pareciam estar mortas, mas depois que brotaram e continuaram a crescer foram classificadas como vivas, sendo que suas medições para altura e diâmetro não foram coletadas.

## **4.4 Avaliações edafoclimáticas e fotossintéticas**

### **4.4.1 Umidade do Solo**

As amostras de solos foram coletadas em meados de agosto de 2015. Tendo como base uma profundidade de 0-20 cm, as amostras foram recolhidas em cada tratamento utilizando-se de uma sonda tubular para amostragem de solo (Oakfield Apparatus Co.). Após enviadas ao laboratório, a umidade do solo foi determinada para cada amostra através do cálculo de perda de massa (peso úmido - peso seco) , com a secagem em estufa regulada a 68°C durante 48 h.

### **4.4.2 Temperatura**

A temperatura foi medida em um ponto dentro de cada tratamento uma vez a cada hora, utilizando-se “data loggers” (U10-003, Onset Computer Corp., Bourne, MA). Cada data *logger* foi mantido cerca de 80 cm acima do solo, tendo sua posição era modificada de forma aleatória para um outro ponto a cada 4 semanas. Os coletores registraram mais de 100.000 pontos durante o período de julho de 2014 a abril de 2016.

### **4.4.3 Radiação fotossinteticamente ativa (RFA)**

As medições da Radiação fotossinteticamente ativa (RFA,  $\mu\text{mol.fótons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) ocorreram durante os meses de julho e agosto de 2015 (verão) entre as 11:00 h e 14:00 h. Durante estes dois meses, 15 pontos por tratamento foram coletados e analisados. As medições ocorreram com o aparelho ceptômetro modelo AccuPAR LP-80 (Decágono Devices, Pullman, WA), adotando-se sempre uma altura de cerca de 80 cm do solo para captar a radiação incidente (Figura 8).



Figura 8. Medição da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) através do uso do ceptômetro.

#### 4.4.4 Fotossíntese

As trocas gasosas que incluem a taxa líquida de fotossíntese (A), condutância estomática (g) e transpiração (E) foram conduzidas em dois momentos, agosto de 2014 e julho de 2015 (Figura 9). Para isso, seis indivíduos de cada espécie foram escolhidos aleatoriamente em cada um dos sub-tratamentos. Em cada planta, a folha mais jovem, já completamente formada e sem danos físicos ou bióticos foi utilizada como parâmetro de avaliação.

As medições ocorreram em 2 dias consecutivos entre às 10:00 e às 12:30 h, com um analisador de troca de gás infravermelho portátil (IRGA; LI-XT 6400, LI-COR Inc., Lincoln, NE, EUA). O dióxido de carbono a 400  $\mu\text{mol}$  e fluxo de 500  $\text{mol s}^{-1}$  foram mantidas constantes no IRGA. As medições de fotossíntese foram realizadas em um total de 108 indivíduos (54 de cada espécie), sendo 12 árvores por tratamento x 3 tratamentos x 3 sítios. Das 12 árvores medidas por tratamento, 6 espécies foram escolhidas em cada sub-tratamento (com capina e a outra metade sem capina). A temperatura fixada na câmara do LICOR foi de 26.6°C, 25.9°C e 24.9 °C para corte raso, desbaste e controle,

respectivamente, sendo estas, a temperatura média avaliada pelo *data logger* nos meses de junho, julho e agosto, no período de 10 às 16 h.

A radiação PAR encontrada para cada tratamento foi fixada no LICOR como parâmetro de medição. A mesma planta foi avaliada nas duas medições ocorridas, observando-se a média dos anos para cada espécie separadamente.

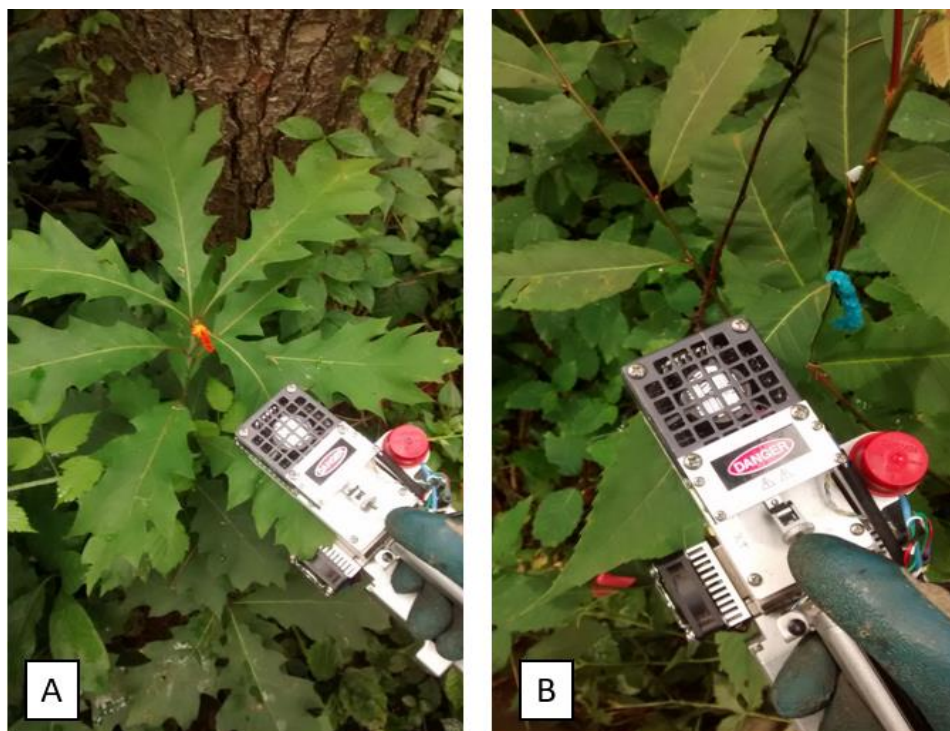


Figura 9. Análise fotossintética de *Quercus rubra* (A) e *Castanea dentata* (B) com uso do aparelho LICOR-XT 6400 Lincoln, NE, EUA)

#### 4.4.5 Estresse hídrico

Após três dias sem qualquer precipitação, as mesmas plantas que tiveram a taxa fotossintética avaliada, foram utilizadas para avaliar o estresse hídrico. Duas folhas foram retiradas, sendo que a primeira era a mesma utilizada para a medição de trocas gasosas e a segunda era outra folha madura do terço superior da planta. As medições foram realizadas por cinco noites no período entre 0:00 h e 05:00 h com uma bomba de pressão (PMS company instrument, Corvallis, Oregon).

#### 4.4.6 Análise estatística

Os dados de altura e diâmetro foram submetidos à análise de variância (ANOVA) ( $p < 0,05$ ), seguido por Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) por comparação múltipla de médias aos pares para detectar efeitos estatisticamente significativos entre os tratamentos e entre as espécies. Aplicou-se modelos lineares generalizados mistos sendo que os sítios foram considerados efeitos aleatórios e os tratamentos, sub-tratamentos e espécies como efeitos fixos para os parâmetros que foram encontrados interação. Os dados foram analisados utilizando-se o software R 3.1.2 (R Core Team 2014).

### 5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 5.1 Estabelecimento e desenvolvimento das espécies

##### 5.1.1 Sobrevivência

Embora as maiores mortalidades terem sido observadas no tratamento controle para ambas as espécies, não foram encontradas diferenças significativas para sobrevivência entre os tratamentos (cortes) e sub-tratamentos (controle ou sem controle de mato-competição) (Figura 10). As maiores mortalidades foram observadas no tratamento controle para ambas as espécies, sendo de 38% para *Quercus rubra* e 22% para *Castanea dentata*.

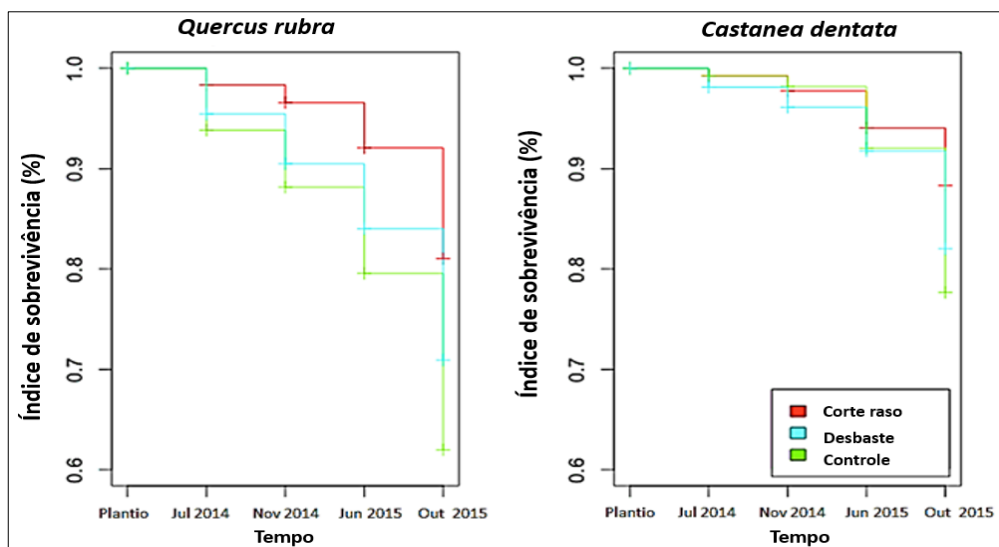


Figura 10. Porcentagem de sobrevivência das duas espécies (*Quercus rubra* e *Castanea dentata*) aos 15 meses após o plantio em três tratamentos silviculturais (corte raso, desbaste e controle).

Dentre os fatores apontados para tal mortalidade, incluem-se intolerância à baixa de luminosidade pelas plântulas nesse tratamento, assim como, danos causados por um rato roedor (*Microtus pennsylvanicus*). Este é uma das espécies de ratos frequente nesta região que são capazes de roer a casca das árvores e pequenos arbustos (Figura 11) causando anelamento, e em seguida a morte das plantas (WOESTE, 2004).



Figura 11. Danos causado por *Microtus pennsylvanicus* em *Castanea dentata*. Na imagem é possível ver parte do caule roído que pode desencadear em anelamento e morte da planta.

Historicamente, a parte oriental dos EUA enfrenta grande dificuldade para estabelecer com sucesso plantios de espécies de madeira dura (hardwood). Uma pesquisa realizada sobre a taxa média de sobrevivência em projetos de restauração aponta dados interessantes. No estudo, que avaliou 87 projetos de restauração em plantio com idades de 1 a 5 anos em todo o estado da Indiana, foi relatado que a taxa média de sobrevivência era de 66%, sendo que, apenas 49% das mudas foram consideradas livres para crescer quando atingiram o 5º ano (JACOBS et al., 2004). Com esta informação, pode-se inferir que a espécie *Castanea dentata* apresentou uma taxa de sobrevivência maior que a média realizada nesse estudo (78%). Porém, *Quercus rubra* mostra-se 4% abaixo da média estudada com uma sobrevivência avaliada em 62%.

### 5.1.2 Crescimento

Além da sobrevivência, o crescimento em altura (cm) e diâmetro de colo (mm) foram coletados e plotados no gráfico (Figura 12). A espécie *Castanea dentata* apresentou o maior crescimento quando comparado com a espécie *Quercus rubra*.

*Castanea dentata* demonstrou um maior desenvolvimento de maneira significativa nos tratamentos desbaste, corte raso e controle, respectivamente (Figura 12). Significante resposta em crescimento também foi observada para esta espécie em relação aos sub-tratamentos mostrando que capina favoreceu o crescimento da espécie. No entanto, essa significância somente foi observada para os tratamentos corte raso e desbaste.

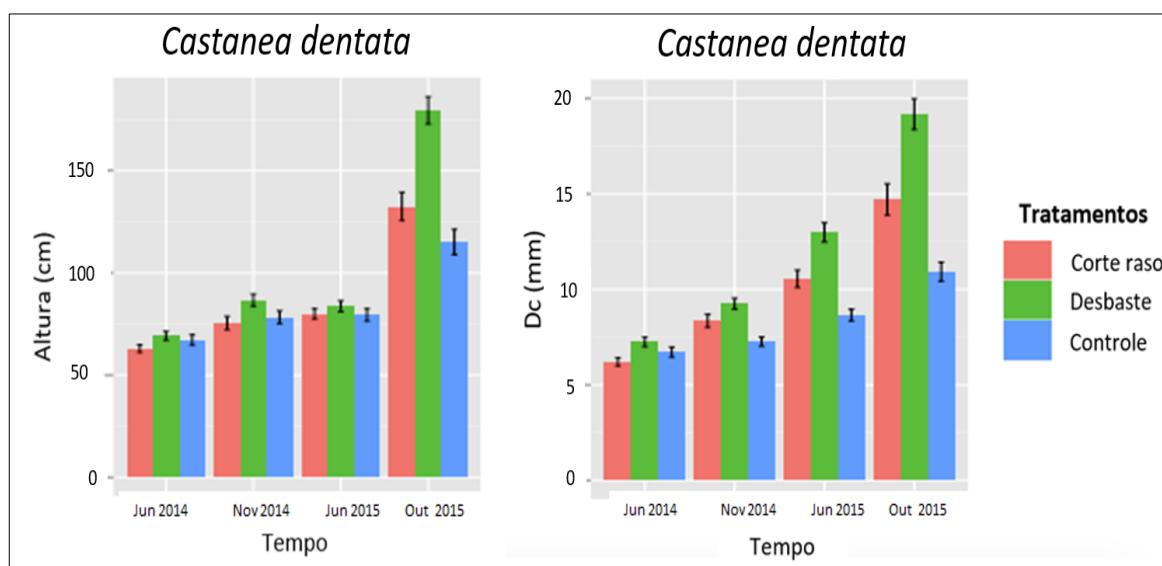


Figura 12. Crescimento em altura (cm) e diâmetro de colo (mm) observado em *Castanea dentata* aos 15 meses de idade em três tratamentos silviculturais (corte raso, desbaste e controle) e dois sub-tratamentos (controle e sem controle do mato-competição).

Com este resultado inicial, é possível inferir que a *Castanea dentata* apresenta maior afinidade por áreas parcialmente sombreadas (com baixa incidência de luz), onde apresentou maior crescimento no tratamento de desbaste. Na literatura, grande parte dos estudos realizado com essa espécie demonstram que *Castanea dentata* possui um rápido crescimento quando comparada a outras espécies de mesma importância. McCament e McCarthy (2005), citam que, em áreas de menor luminosidade (desbaste) *Castanea dentata* aparentemente desenvolve mecanismos para compensar essa falta de luz (ex: aumento da área foliar específica), favorecendo assim seu rápido crescimento.

No presente trabalho, pode-se observar em alguns indivíduos do tratamento controle que o aumento da área foliar cresceu de maneira anormal para compensar a baixa radiação solar, mas mesmo devido ao esse aumento, os indivíduos não apresentaram valores expressivos em crescimento.

*Castanea dentata* apresenta crescimento e maior estabelecimento em relação a outras duas espécies (*Q. rubra* e *J. nigra*) (JACOBS, 2004b). O crescimento inicial em altura e ramificação lateral da copa são características marcantes da espécie para dominar o dossel e se livrar da competição (JACOBS, 2004b).

Outro autor, Joesting (2007), observou que plântulas de *Castanea dentata* apresentaram também uma maior alocação de carbono em crescimento em locais de desbaste do que em locais sem corte (controle). No entanto, Griffin (1989), cita que em locais de alta intensidade de luz, associada com a competição de plantas invasoras podem resultar em um baixo crescimento e susceptibilidade ao cancro da castanheira (*Cryphonectria parasítica*).

Mesmo apresentando menor altura e diâmetro de colo do que *Castanea dentata*, a espécie *Quercus rubra* demonstrou maior crescimento no tratamento de corte raso, seguido por desbaste e controle (Figura 13).

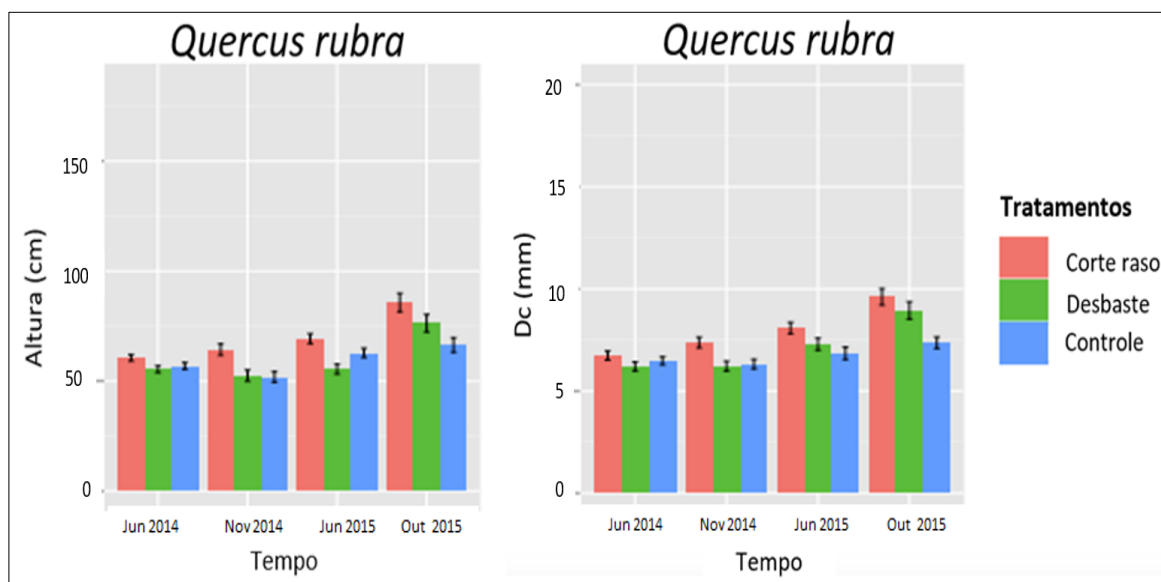


Figura 13. Crescimento em altura (cm) e diâmetro de colo (mm) observado em *Quercus rubra* aos 15 meses de idade em três tratamentos silviculturais (corte raso, desbaste e controle) e dois sub-tratamentos (controle e sem controle do mato-competição).

A capina contribuiu para um maior crescimento para os tratamentos corte raso e desbaste. Mesmo sabendo que a espécie se adapta a locais de sombreamento

intermediário, alguns estudos afirmam que a maior disponibilidade de luz pode favorecer o crescimento desta espécie. Como exemplo, Lantagne et al. (1990), observou que após realizar desbaste de algumas árvores, a maior disponibilidade de luz favoreceu o crescimento inicial e sobrevivência de *Q. rubra*.

Outros autores recomendam um desbaste mais intensivo de árvores adultas quando o foco é voltado para o plantio comercial desta espécie (NEWBOLD e GOLDSMITH, 1992). Além disso, um local de muito sombra pode reduzir ou eliminar a capacidade das folhas de ajustarem os estômatos, no qual representa uma redução na concentração de açúcar solúvel na folha (ROBSON et al. 2009).

É observado para ambas espécies, que a redução de área basal das árvores de *Pinus strobus* (desbaste ou corte) favoreceu o maior crescimento. Porém, como levantado por Lorimer et al. (1994), quando ocorre um aumento na intensidade de luz, a competição por recursos (água e nutrientes) com a espécie plantada, também pode aumentar devido à elevação da vegetação de plantas invasoras acima do solo.

Um fato importante a ressaltar, é que após 5 anos os remanescentes de *Pinus strobus* também serão eliminados do tratamento desbaste. Assim, será possível avaliar e comparar o crescimento das mesmas espécies sob duas intensidades de luz (parcial e total).

## 5.2 Umidade do Solo

Com a coleta de solo realizada em 2015, foi observado que a umidade do solo apresentou diferença significativa entre os três tipos de tratamentos ( $p < 0,001$ ). Corte raso apresentou uma maior porcentagem de umidade no solo quando comparado ao desbaste e controle (Figura 14). não foram encontradas diferenças significativas entre os sub-tratamentos.

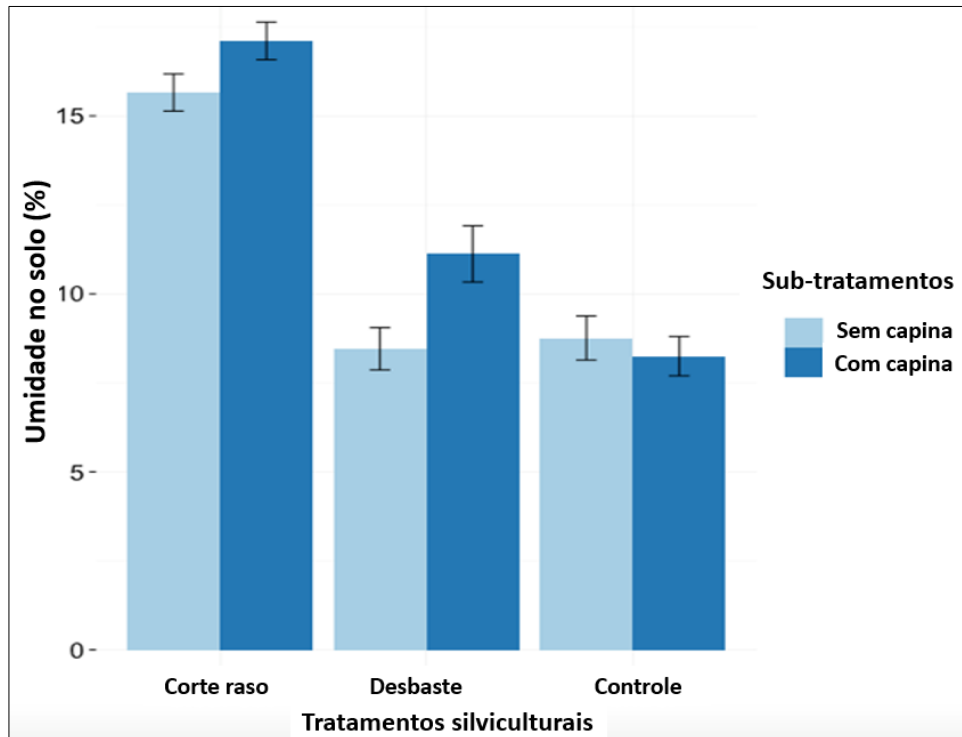


Figura 14. Porcentagem de água no solo comparando três manejos silviculturais de corte e dois manejos de mato-competição (com capina e sem capina).

O tratamento controle apresenta uma menor umidade no solo quando comparado aos outros tratamentos. Tal fato pode ser explicado devido ao maior número de indivíduos presentes no local, acarretando maior consumo de água no solo, e também maior cobertura do dossel o que impede a entrada da água da chuva. Além disso, o tratamento controle apresenta uma maior quantidade de serapilheira no solo que atua como uma redução da emergência de plantas daninhas. Isto é, mesmo havendo ou não capina nesse tratamento a umidade do solo pouco será afetada.

Alguns autores comentam sobre diferentes tratamentos silviculturais relacionando-os à característica do sítio. Rodríguez-Calcerrada et al. (2008), realizou um estudo com seis espécies nativas da região da Espanha. Ele observou que maior intensidade em floresta de *Pinus halepensis*, apresentou maior umidade no solo.

### 5.3 Estresse hídrico

O estresse hídrico das plantas foi medido nos mesmos indivíduos onde a fotossíntese foi apurada, mas em horários diferentes. Não foram encontradas diferenças significativas dentre tratamentos e sub-tratamentos (Figura 15). Cabe ressaltar que o solo quando está saturado (capacidade de campo) apresenta valores de potencial hídrico ( $\Psi_w$ )

próximo a zero, mas quando está seco (chegando ao ponto de murcha permanente) seu potencial pode chegar a -1.5 Mpa (TAIZ e ZEIGER, 2013.)

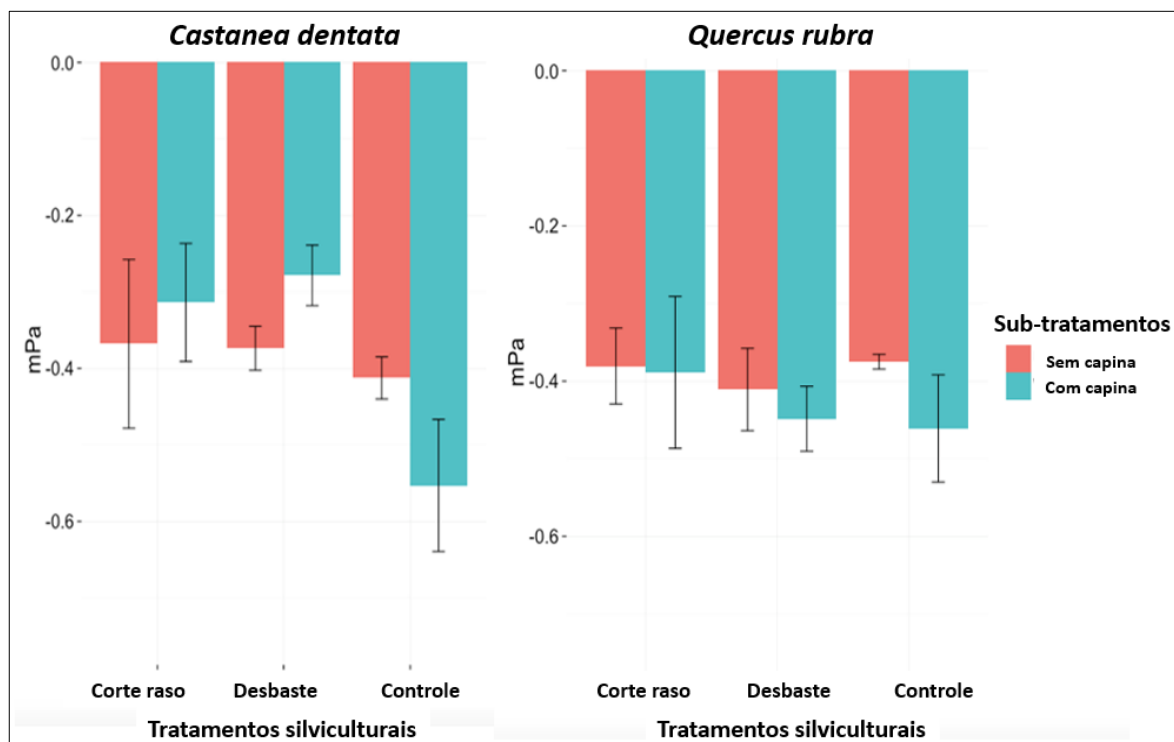


Figura 15. Resposta ao estresse hídrico pelas duas espécies em três tratamentos silviculturais (corte raso, desbaste e controle) e dois sub-tratamentos (controle e sem controle do mato-competição). Valores negativos representam o estado de déficit hídrico na planta naquele momento.

Hoerling (2003), aponta que o déficit hídrico influencia uma grande variedade de processos fisiológicos, que incluem assimilação fotossintética de carbono e condutância estomática. Além disso, em resposta à seca, o ajuste osmótico e a regulação estomática podem ser reduzidos. Weber e Gates (1990), estudando o estresse hídrico em *Quercus rubra*, descobriu que o estresse estava altamente associado com trocas gasosas, principalmente nas horas mais quentes do dia. Quando isto ocorre na sombra, a planta apresenta uma menor eficiência no uso da água, em partes devido a uma mudança na morfologia da folha, como por exemplo aumento da área foliar específica para captar mais luz (ARANDA et al., 2007).

## 5.4 Temperatura

As temperaturas máximas e mínimas ao longo dos meses podem ser observadas na Figura 16. A temperatura teve uma pequena variação nos três tratamentos durante o período avaliado, apresentando máxima de aproximadamente 30°C no mês de agosto de 2015 e mínima de -18°C no mês de janeiro de 2015.

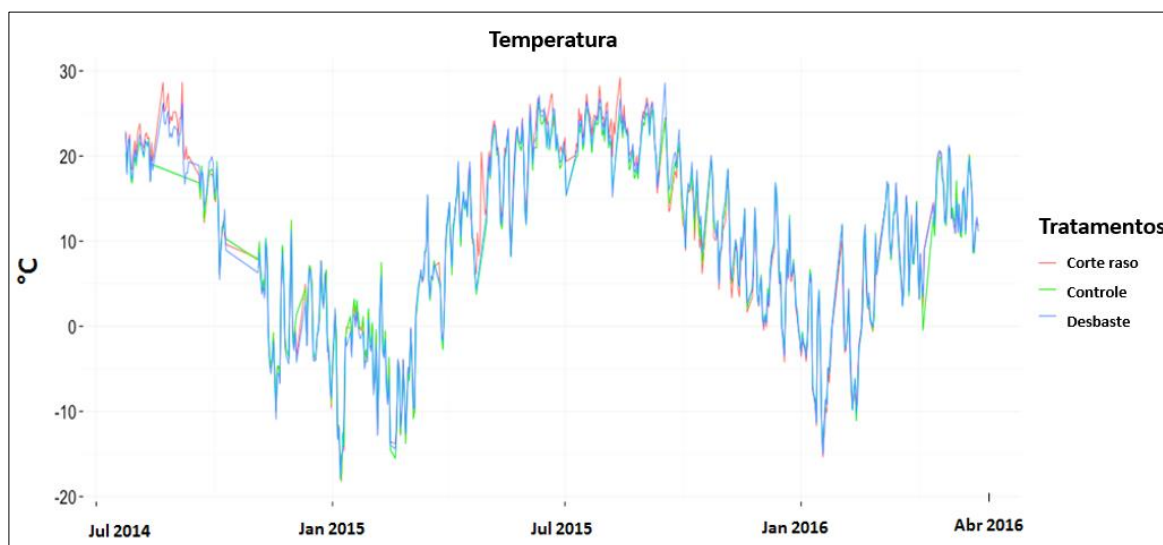


Figura 16. Distribuição da temperatura para os três tratamentos silviculturais (corte raso, controle e desbaste) avaliada no período de julho de 2014 a abril de 2016.

O planejamento é um aspecto fundamental para que ocorra um plantio de sucesso no Meio-Oeste Americano. Devido à alta variação na temperatura ao longo do ano, deve-se atentar para época de plantio, espécie a ser utilizada e manejo a ser aplicado.

Pijut (2003), afirma que a melhor época para o plantio é no final do inverno ou início da primavera. Esse período que vai de março a maio, além de apresentar uma velocidade menor do vento, possui uma temperatura ideal para maior sobrevivência e estabelecimento das mudas.

Além da sobrevivência, sabe-se que a temperatura afeta diretamente a fotossíntese, tanto nas reações bioquímicas, quanto na perda de água e controle estomático (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Em um estudo por Havaux (1992), relacionando fotossíntese com a temperatura, ele obteve resultados onde a fotossíntese foi significativamente inibida a temperaturas superiores a 38-40 °C quando comparada com plantas irrigadas e menor condição de

calor. Faria et al. (1996), observaram que a alta temperatura ou déficit de pressão de vapor na folha resultou em um forte declínio em fotossíntese para a espécie *Quercus suber*. Por outro lado, sob temperaturas excessivamente baixas, o resfriamento e congelamento das plantas podem causar a disfunção de membranas, redução do potencial hídrico e desidratação celular (TAIZ e ZEIGER, 2013).

### 5.5 Radiação fotossinteticamente ativa (RFA)

Na média, as intensidades de corte resultaram em disponibilidade de luz de 100%, 59.3% e 18.5% para os tratamentos de corte raso, desbaste e controle respectivamente. Diferenças significativas somente foram encontradas para os tratamentos de corte e também para os sub-tratamentos de mato competição ( $p=0,015$ ). Como já esperado, a maior média de densidade de fótons foi encontrado no tratamento de corte raso  $1738 (\pm 0.07) \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  seguido por desbaste  $824 (\pm 0.06) \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  e controle  $456 (\pm 0.07) \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (Figura 17).

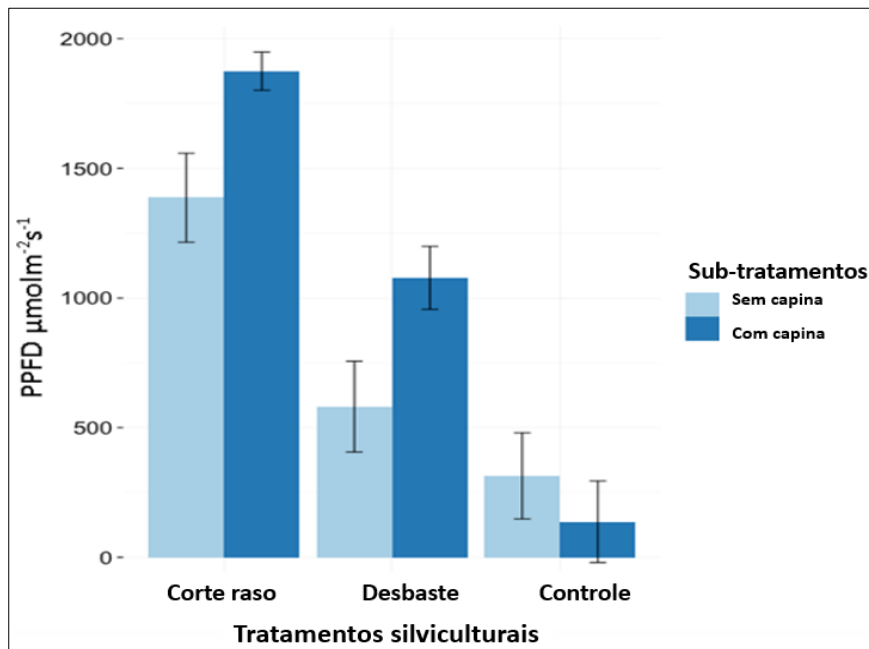


Figura 17. Densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) nos três tratamentos (corte raso, desbaste e controle) e sub- tratamentos (controle e sem controle do mato-competição).

No local de estudo foi possível observar que o tratamento que recebia a mais radiação (corte raso), era também o que apresenta a maior mato competição com plantas

C4 (Gramíneas) e outras herbáceas. Contudo, também foi possível observar que o tratamento controle nos três sítios estudados, apresentou apenas pequenas plantas herbáceas, mostrando a influência dessa baixa radiação e de outros fatores que foram discutidos anteriormente neste tratamento.

A maioria dos autores apresentam dados favoráveis quando relacionam PAR e desenvolvimento das plantas. Joesting (2007), estudando *A. chestnut* em diferentes intensidades de luz, observou que a abertura no dossel das árvores (desbaste) foi a condição ambiental correlacionada e mais favorável aos parâmetros que ele mediu (crescimento e fotossíntese). Robakowski e Wyka (2003), indicaram que as condições de irradiância em interação com a temperatura influenciou fortemente os resultados de fotossíntese quando estudaram plântulas de *Abies alba*.

Welander e Ottosson (1998), observando crescimento de mudas de *Quercus robur* L. e *Fagus sylvatica* L. sob diferentes intensidades de luz, apontaram que uma maior massa seca de folhas, galhos e raízes para ambas espécies estavam relacionadas com o aumento do fluxo fotônico fotossintético (PPFD).

Segundo Rebeck et al. (2011), o gênero *Quercus* (carvalho) geralmente mostra um maior crescimento com o aumento de energia luminosa, mas pode depender de cada espécie. Gottschalk (1994), aponta que *Quercus rubra*, apresenta um maior crescimento em sítios que recebem acima de 20% de luz, o que condiz com o crescimento encontrado para esta espécie neste estudo, onde apresentou maior crescimento nos tratamentos onde houve maior disponibilidade de luz.

## 5.6 Fotossíntese

Das duas espécies, *Castanea dentata* apresentou de maneira significativa maior taxa fotossintética em relação à *Q. rubra*. Dentre os tratamentos, o corte raso foi o que apresentou a maior taxa de fotossíntese (Amax), seguido por desbaste e controle. Valor significativo somente foi encontrado comparando corte raso com o tratamento controle ( $p < 0,05$ ). A ausência ou presença de mato-competição não foi significativa entre os dois sub-tratamentos, embora a taxa fotossintética tenha sido maior para corte raso e desbaste onde a capina fora realizada (Figura 18).

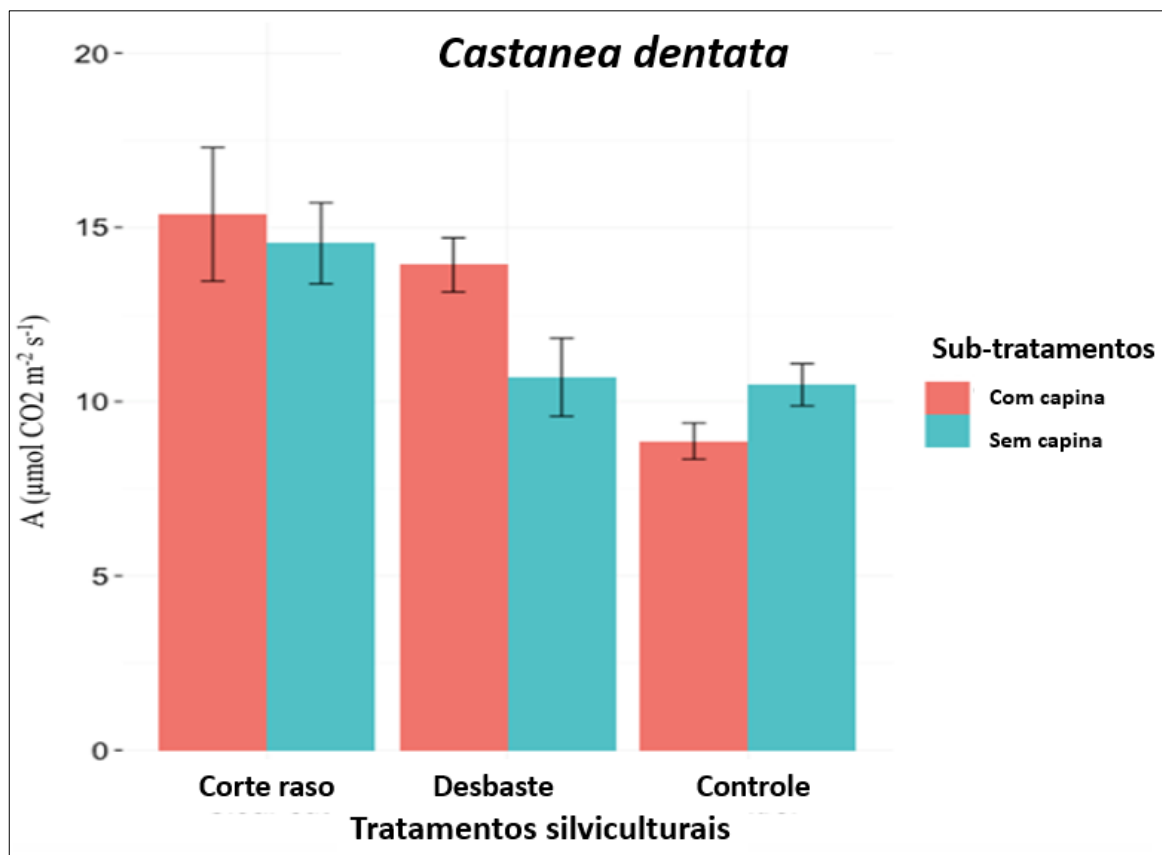


Figura 18. Taxa fotossintética (A) de *Castanea dentata* em três tratamentos silviculturais (corte raso, desbaste e controle) e dois sub-tratamentos (controle e sem controle do mato-competição).

Embora esta espécie tenha apresentado um crescimento maior e significativo no tratamento desbaste, a fotossíntese não apresentou este mesmo resultado.

Já o *Q. rubra* apresentou valores próximos quando comparados os tratamentos silviculturais. Não houve diferenças significativas entre os mesmos, nem entre os sub-tratamentos de mato-competição (Figura 19).

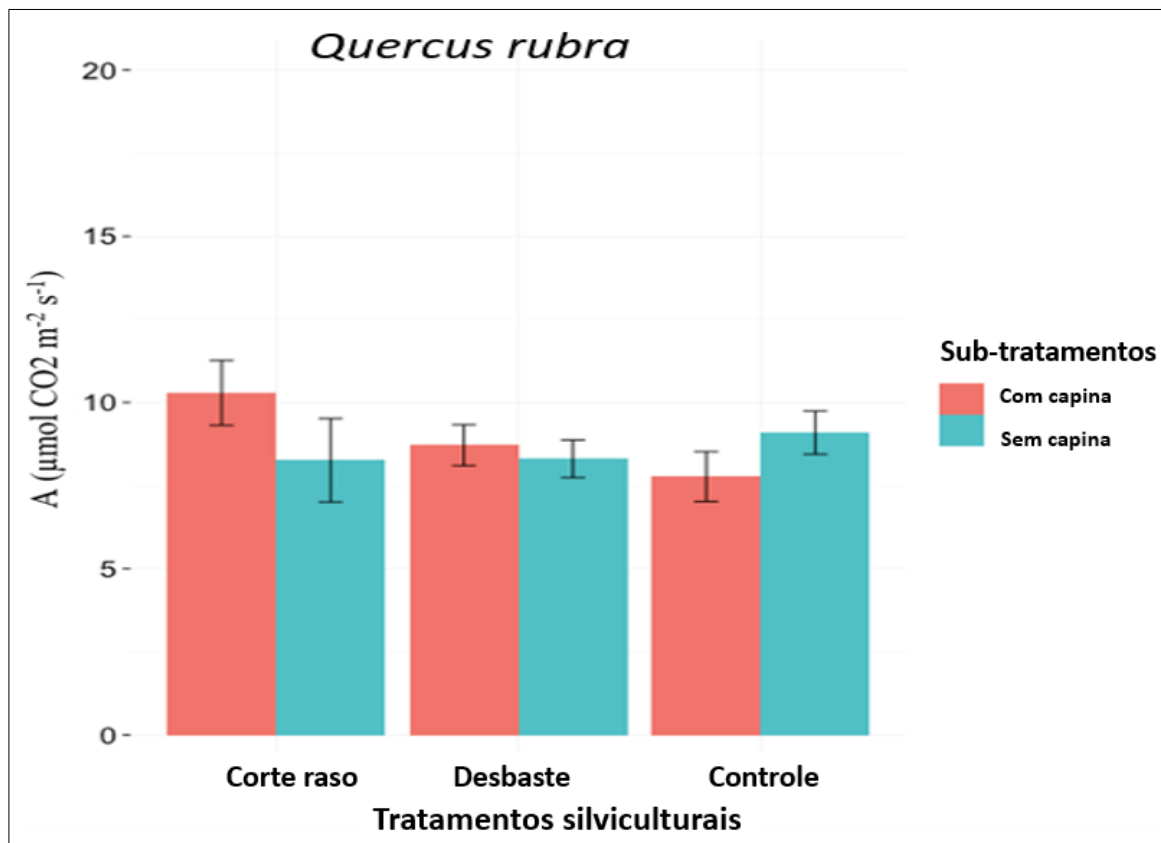


Figura 19. Taxa fotossintética (A) de *Quercus rubra* em três tratamentos silviculturais (corte raso, desbaste e controle) e dois sub-tratamentos (controle e sem controle do mato-competição).

Alguns trabalhos na literatura vão de encontro com os resultados encontrados nesse trabalho. Joesting (2007), comparando dois tratamentos silviculturais (desbaste e controle), observou que a fotossíntese máxima, taxa de respiração e massa de folha por área aumentaram linearmente com uma maior disponibilidade de luz. Wang et al. (2006), avaliaram *C. dentata* sob 4 diferentes intensidades de luz em casa de vegetação. Estes autores observaram que a medida que a radiação aumentava, a fotossíntese líquida também aumentava. A mesma relação foi observada por Whitehead et al. (2004), que avaliaram folhas de árvores maduras de *Quercus rubra* e observaram uma maior taxa de fotossíntese ( $A_{max}$ ) com o aumento da radiação.

Comparando às duas espécies em termos de assimilação do CO<sub>2</sub> relacionado à radiação, Kubiske e Pregitzer (1996), observaram que o ponto de saturação da luz de *Castanea dentata* era menor que o ponto de saturação de *Quercus rubra*. Ou seja, *C. dentata* se mostra mais tolerante à sombra do que *Q. rubra* pois necessita de uma menor densidade de fluxo fotônico (PPDF) para atingir sua máxima assimilação de CO<sub>2</sub>.

Outro parâmetro que também foi coletado junto à fotossíntese foi a transpiração. Na figura 20 observa-se que *Castanea dentata* apresentou maiores valores no tratamento corte raso. Além disso, todos os valores foram significativos ( $p < 0,0001$ ) dentre os tratamentos. Contudo, os sub-tratamentos não mostraram diferença significativa.

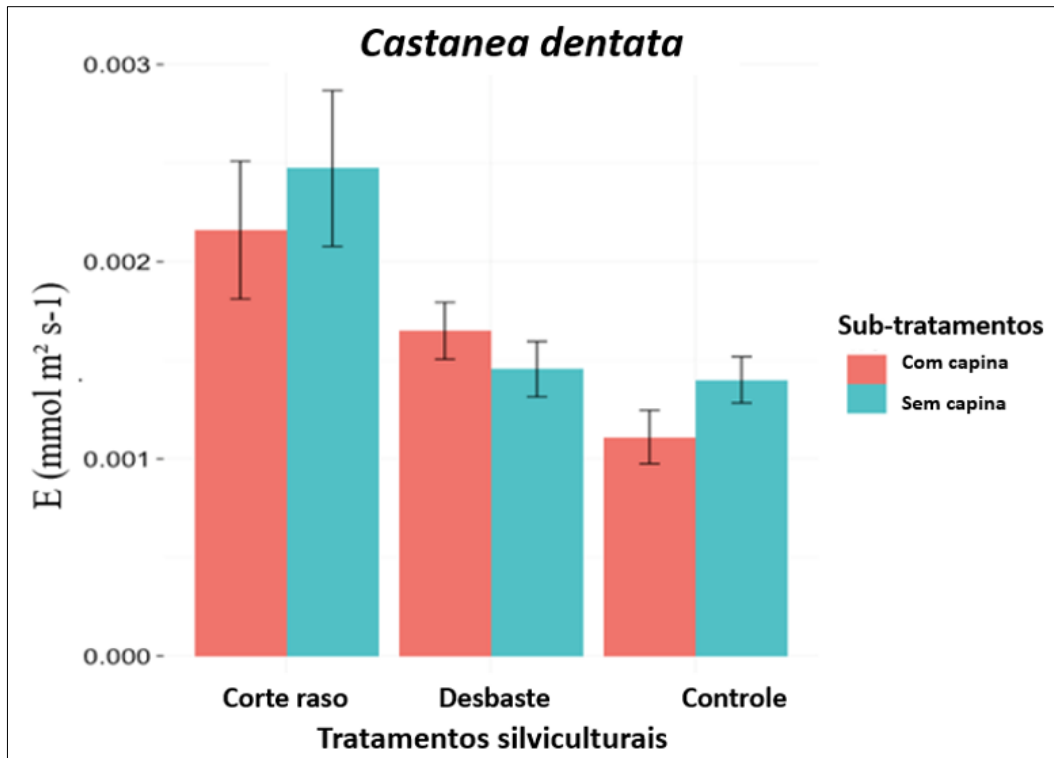


Figura 20. Resposta à transpiração (E) para *Castanea dentata* em três tratamentos silviculturais (corte raso, desbaste e controle) e dois sub-tratamentos (controle e sem controle do mato-competição).

Assim como *Castanea dentata*, *Quercus rubra* também apresentou os maiores resultados à transpiração (E) para o tratamento corte raso (Figura 21). Esse tratamento mostrou também diferença estatística ( $p < 0,0001$ ) em relação aos outros (desbaste e controle). Apenas o sub-tratamento onde a mato-competição foi removida dentro do tratamento desbaste apresentou significância de ( $p < 0,001$ ) para resposta de (E).

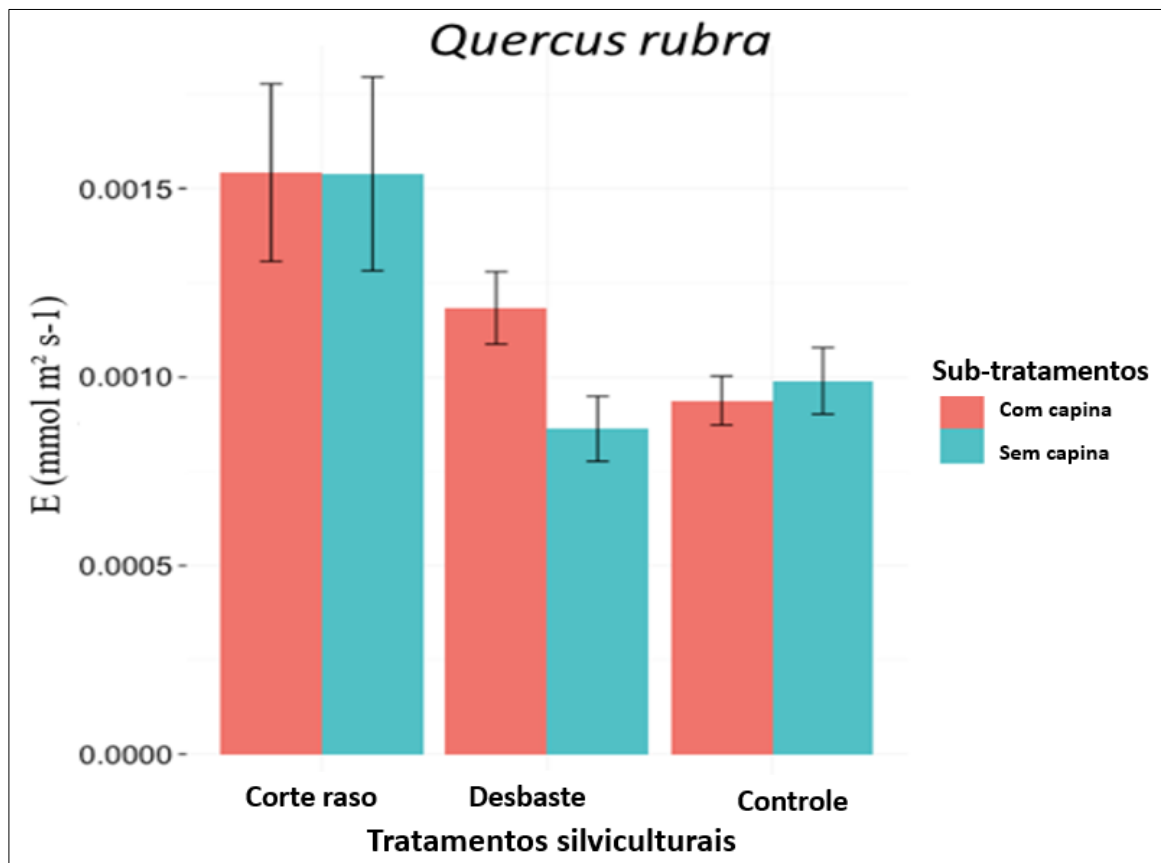


Figura 21. Resposta à transpiração (E) para *Quercus rubra* em três tratamentos silviculturais (corte raso, desbaste e controle) e dois sub-tratamentos (controle e sem controle do mato-competição).

Como esperado, os maiores valores de transpiração e umidade do solo se comportaram de maneira semelhante dentre os tratamentos, mostrando uma forte interação da planta com o solo (na absorção de água) e atmosfera (nas trocas gasosas). Alguns autores relatam que a transpiração apresenta forte relação com o desenvolvimento da planta.

Em um estudo realizado com *Quercus rubra*, Weber e Gates (1990), descobriram que houve uma relação linear entre fotossíntese (A) e transpiração (E) dada a uma concentração fixa de  $\text{CO}_2$ . Aubuchon, (2010) estudando crescimento radicular de *Quercus rubra* em campo e em casa de vegetação, descobriu que a transpiração e desenvolvimento de raiz era um fator correlacionado à umidade do solo.

Maiores valores de condutância foram encontrados no tratamento de corte raso para ambas as espécies. Observando-se os tratamentos, *Castanea dentata* apresentou maiores valores de condutância estomática quando comparado com *Quercus rubra*. Dentre os tratamentos e sub-tratamentos não foram observadas diferenças significativas para *C. dentata* (Figura 22).

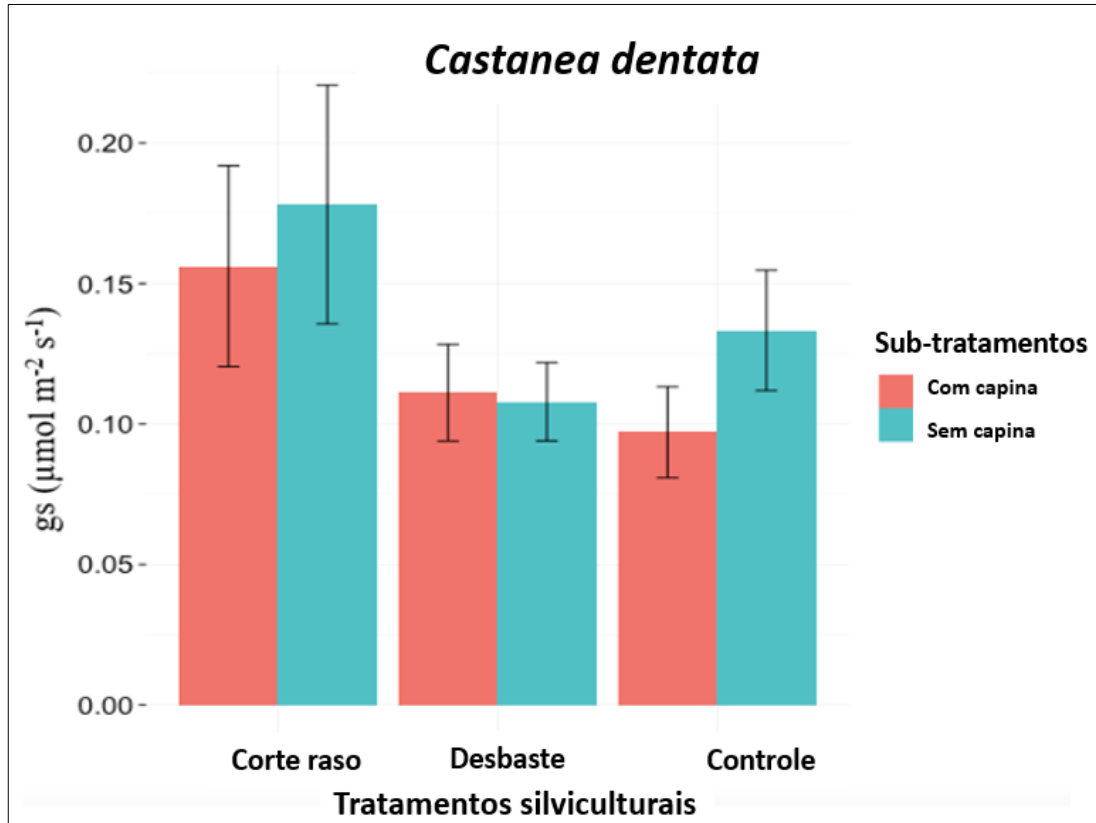


Figura 22. Resposta da condutância estomática (gs) em três tratamentos silviculturais (corte raso, desbaste e controle) e dois sub-tratamentos (controle e sem controle do mato-competição).

A espécie *Quercus rubra* apresentou valores significativos somente quando comparados os tratamentos corte raso/desbaste ( $p=0,026$ ) e corte raso/controle ( $p=0,043$ ). Os sub-tratamentos não apresentaram valores significativos (Figura 23). Também já previsto, os maiores valores de condutância estomática (gs) comportaram-se dentre os tratamentos conforme a maior taxa de transpiração e maior umidade do solo. Percebe-se também que (gs) apresentou valores menores, possivelmente devido ao estresse hídrico e à menor taxa de transpiração.

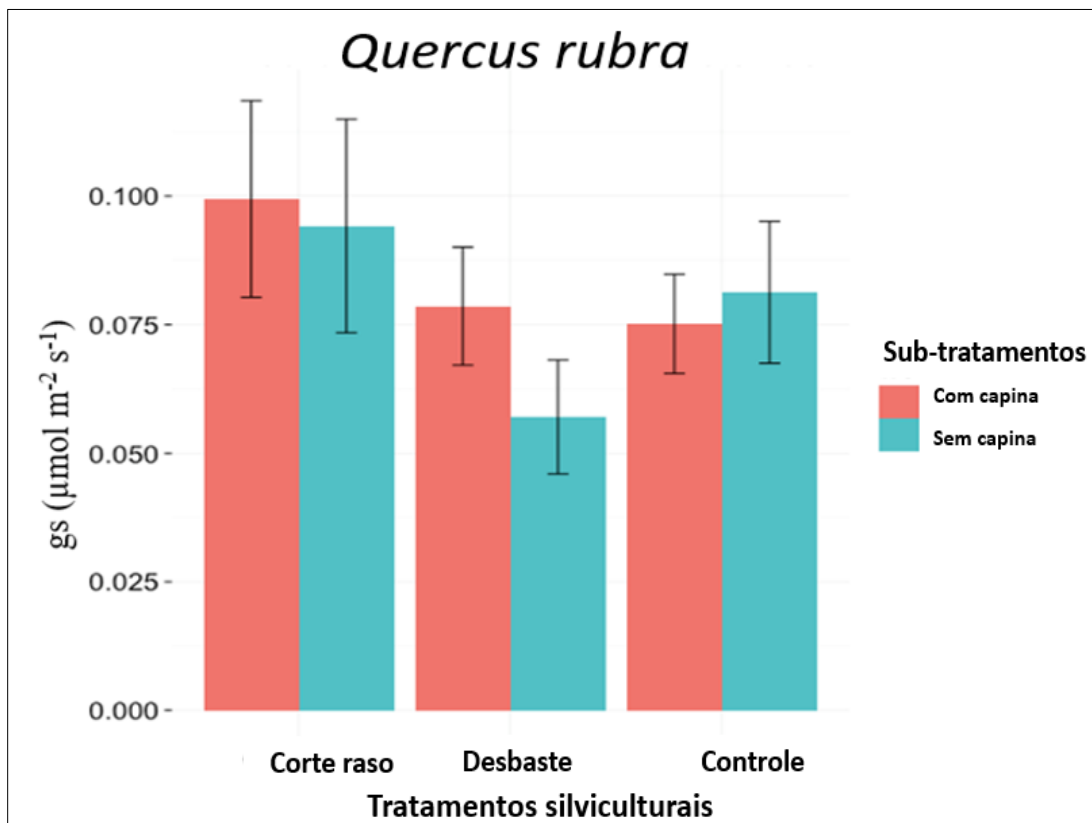


Figura 23. Resposta da condutância estomática (gs) em três tratamentos silviculturais (corte raso, desbaste e controle) e dois sub-tratamentos (controle e sem controle do mato-competição)

Cabe ressaltar que a condutância estomática pode sofrer uma forte redução quando a disponibilidade hídrica no solo é baixa. Lima (2008), estudando transpiração e condutância estomática em folhas de *Swietenia macrophylla*, observou que após bloquear a irrigação dessa espécie houve uma redução drástica nas taxas de transpiração e condutância estomática. Ort et al. (1994) realizaram um estudo com plantas de girassol submetidas ao déficit hídrico; mesmo adotando radiação máxima para as plantas, a condutância estomática foi reduzida significativamente.

Alguns autores associam a condutância estomática à disponibilidade de luz. Lei (1998), estudou o comportamento de onze espécies do gênero *Acer L.* aos dois anos de idade sob três diferentes regimes de luz, e observou que a condutância estomática e fotossíntese mostraram forte dependência de alta densidade fotônica (PPFD). Lima-Junior et al. (2005), estudando plantas jovens de *Cupania vernalis*, observaram também altas taxas de fotossíntese e condutância estomática em folhas crescidas sob pleno sol.

Em suma, esses estudos aproximam-se dos dados observados no presente trabalho. Como exemplo, cita-se o tratamento de corte raso que apresentou características (maior incidência solar, umidade no solo) que resultaram em maior taxa fotossintética para ambas as espécies de

acordo com maior umidade no solo, menor déficit hídrico, maior transpiração e maior condutância estomática.

## 6.0 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no estudo, pode-se concluir que:

- ❖ A *Castanea dentata* mostrou-se mais eficiente do que *Quercus rubra* no uso de recursos e produtividade, no qual apresentou os maiores resultados em crescimento e fotossíntese, além de menor mortalidade;
- ❖ Os tratamentos silviculturais mostraram que quanto maior a intensidade de desbaste, maior também será a incidência de luz, a taxa fotossintética e a disponibilidade de água no solo. Porém, o desbaste torna o local mais susceptível ao surgimento de plantas invasoras.
- ❖ O sub-tratamento que visa o controle da mato-competição apresentou resultado satisfatório somente para o crescimento da espécie *Castanea dentata*. Como esta foi a primeira avaliação da competição, espera-se que nos próximos anos esse tipo de manejo possa também afetar os outros parâmetros abordados neste trabalho (fotossíntese, umidade no solo, transpiração, etc.);
- ❖ De acordo com o estudo, o tratamento de desbaste se apresentou como a melhor alternativa para conversão das florestas exóticas de *Pinus strobus*, pois, além de manter alguns recursos (água, luz) viáveis para o crescimento das espécies, podem proteger as plântulas contra alta competição e estresses térmicos.

## 7.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É observado que a publicação de artigos científicos relacionados ao termo de conversão de florestas tem sido cada vez frequente. Por exemplo, nos países Europeus e Norte Americanos, encontram-se diversos trabalhos que estudam a viabilidade e comportamento de espécies nativas após serem introduzidas em um ecossistema onde há ou houveram a ocorrência de espécies exóticas.

Infelizmente, no Brasil o termo conversão de florestas ainda está mais associado com o desmatamento de áreas naturais do que com a transformação do meio ambiente para introdução de espécies de maior agregado. Visto que, grande parte dos nossos biomas são convertidos frequentemente por monoculturas anuais e perenes que apresentam baixo valor socioambiental.

Esse tipo de estudo que vem sendo realizado no estado da Indiana, apresenta uma oportunidade de entender como a transformação de um ambiente pode gerar ganhos para o ambiente e para população local, assim como, compreender os gargalos que afetam a conversão. Acredita-se que após o estabelecimento e maturidade dessas espécies aqui estudadas, o valor das áreas para a conservação da biodiversidade, o potencial de oferta de serviços ecossistêmicos e a ampliação de áreas de habitat será grandemente beneficiado.

Como experiência pessoal, afirmo que é uma oportunidade única que o aluno de graduação possa vivenciar. Conhecer e estudar em uma universidade onde passam em média quarenta mil alunos por ano, foi engrandecedor e prazeroso. Saber lidar com diferentes raças e culturas, ter contato com diferentes línguas, conhecer um pouco mais sobre o clima, fauna e flora local, trabalhar em grupo, enfim, são diversos os fatores que marcam e transformam a vida acadêmica de qualquer aluno.

## 8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANDA I, P. M, PUÉRTOLAS J, J. MD, PARDOS JA (2007) **Water- use efficiency in cork oak (*Quercus suber*) is modified by the interaction of water and light availabilities.** Tree Physiol 27:671–677.
- AUBUCHON, E. A. **Soil Moisture Profiles and Root growth of Hardwood Trees Planted in Different Groundcovers on the Steep Slopes of Reclaimed Mine Sites.** 2010. Steep Slopes of Reclaimed Mine Sites. " Master's Thesis, University of Tennessee, 2010
- AUSSENAC, G., 2000. **Interactions between forest stands and microclimate: ecophysiological aspects and consequences for silviculture.** Ann For Sci 57, 287–301.
- BRATKOVICH, S. et al, **Forest of Indiana: their economic importance.** U.S. Dept. Agric. For. Serv. Northeast. Area, State Priv. For. [2004] 4, 18 p.
- BURDEN, D. Forestry Profile. **Agricultural Marketing Resource Center. Iowa State University.** 2012. Disponível em: <<http://www.agmrc.org/commodities-products/forestry/forestry-profile/>>. Acesso me: Maio 2016.
- CARMAN, S.F. **Indiana Forest management: history and practices.** Pages 12-23 in Swihart, R.K., Saunders, M.R., Kalb, R.A., and Michler, C.H., eds. In The Hardwood Ecosystem Experiment: a framework for studying responses to forest management. Gen. Tech. Rep. NRS-P-108. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station, Newtown Square, PA. [CD ROM]. 2013.350 p.
- CARNEIRO, R.L. **Caracterização da capacidade fotossintética e da condutância estomática em árvores de *Pinus caribea* var. *hondurensis* e de *Pinus taeda* em Itatinga, São Paulo.** Dissertação. ESALQ/USP. 2013.

- COSTA, G.F. da; MARENCO, R.A. **Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*)**. *Acta Amazonica*. v 37(2). 2007. 229-234 p.
- DALGLEISH, H.J.; SWIHART, R.K. *Castanea dentata* Past and Future: Implications of Restoration for Resource Pulses and Consumer Populations of Eastern U.S.Forests. **Restoration Ecology**. v. 20. n. 4. 2012. 490-497 p.
- DISKIN, M., STEINER, K. C., HEBARD, F. V. Recovery of *Castanea dentata* characteristics following hybridization and backcross breeding to restore blight-ravaged *Castanea dentata*. **Forest Ecology and Management**. 223:439-447. 2006.
- DUFFY, P. **Vegetation and soil characteristics of pine plantations and naturally regenerated hardwood forests on the Hoosier National Forest**. Thesis. Purdue University. 2014.
- DUMROESE, R.K., LANDIS, T.D., BARNETT, J.P., BURCH, F.. **Forest tree nurseries: 100 years of ecosystem restoration**. 2005. *Journal of Forestry* 103: 241-247.
- FARIAT, GARCÍA-PLAZAOLA JI, ABADÍA A, CERASOLI S, PEREIRA JS, CHAVES MM.1996. **Diurnal changes in photoprotective mechanisms in leaves of cork oak (*Quercus suber* L.) during summer**. *Tree Physiology* 16: 115–123.
- FOREST SERVICE US. **Species: *Quercus rubra* L.** 2002. Disponível em: <<http://www.fs.fed.us/ne/morgantown/4557/gypsymth/h833.html>>. Acesso em: 15 junho 2016.
- FREINKEL, S. ***Castanea dentata* : the life, death, and rebirth of a perfect tree**. Berkeley: University of California Press, 2007. *eBook Collection (EBSCOhost)*. p. 11-28. 2007.

- GJESTSON, D.L.; **The gamekeepers: Wisconsin wildlife conservation from WCD to CWD**; Department of Natural Resources (DNR); Chapter 3; 2013; 496 p.
- GOTTSCHALK KW (1994). **Shade, leaf growth and crown development of *Quercus rubra*, *Quercus velutina*, *Prunus serotina* and *Acer rubrum* seedlings**. *Tree Physiol* 14:735–749.
- GRIFFIN, G.J. **Incidence of chestnut blight and survival of *Castanea dentata* in forest clear-cut and neighboring understory sites**. *Plant Dis.* 1989, 73, 123–127.
- HOERLINGM., KUMAR A., **The perfect ocean for drought**. *Science* 299 (2003) 691–694.
- HARTMAN, J.R., BUCKLEY, D.S., SHARIK, T.L. **Differential success of oak and red maple regeneration in oak and pine stands on intermediate-quality sites in northern Lower Michigan**. *Forest Ecology and Management*. 216: 77–90. 2005.
- HAVAUX, M.1992. **Stress tolerance of photosystem II in vivo: antagonistic effects of water, heat and photoinhibition stresses**. *Plant Physiology*100: 424–432.
- ISDA (Indiana State Department of Agriculture). **Indiana Agriculture’s Strategic Plan. Possibilities unbound: the plan for 2025**. 2005. 43 p.
- JACOBS, D.F.; DALGLEISH, H.J.; NELSON, C.D. **Synthesis of *Castanea dentata* (*Castanea dentata*) biological, ecological, and genetic attributes with application to forest restoration**. Forest Health Initiative. 2016. Disponível em: <<http://foresthealthinitiative.org/resources/chestnutdossier.pdf>>. Acesso em: 16 junho 2016.
- JACOBS, D.F., ROSS-DAVIS, A.L., AND A.S. DAVIS. **Establishment success of conservation tree plantations in relation to silvicultural practices in Indiana, USA**. 2004a. *New Forests* 28: 23-36.

- JACOBS, D. F. AND SEVEREID, L. R.. **Dominance of interplanted *Castanea dentata* (*Castanea dentata*) in southwestern Wisconsin, USA.** Forest Ecology Management 2004b. 191:111-120.
- JOESTING, Heather M.; MCCARTHY, Brian C.; BROWN, Kim J. **The photosynthetic response of *Castanea dentata* seedlings to differing light conditions.** Canadian Journal of Forest Research, v. 37, n. 9, p. 1714-1722, 2007.
- JOHNSON, P.S., SHIFLEY, S.R., AND ROGERS, R..**The Ecology and Silviculture of Oaks.** CABI Publishing, New York, NY.2002.
- KNIGHT, R.L. 1999. Private lands: **The neglected geography.** Conservation Biol. 13:223-224.
- KIM, C.; SHARIK, T.L.; JURGENSEN, M.F. Canopy cover effects on mass loss, and nitrogen and phosphorus dynamics from decomposing litter in oak and pine stands in northern Lower Michigan. **Forest Ecology and Management.** 80. 1996. 13-20 p.
- LANTAGNE, D.O., C.W. RAMM, AND D.I. DICKMANN. **Tree shelters increase heights of planted oaks in a Michigan clearcut.** North. J. Appl. For. 1990.7:24–26.
- LEI, T.T, LECHOWICZ, M. . Diverse Responses of Maple Saplings to Forest Light Regimes. **Annals of Botany**, v. 82, n. 1, p. 9–19, 1998.
- LIMA, A.P.B., et al. **Transpiração e condutância estomática em folhas de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King R. A) submetida ao estresse hídrico e a reidratação.** Revista Brasileira de Biociências, v. 5, n. S2, p. pg. 933-935, 2008.
- LORIMER, C. **Development of the red maple understory in northeastern oak forests.** Forest Science. 30:3-22. 1984.
- LORIMER, C.G., CHAPMAN, J.W., LAMBERT, W.D., 1994. **Tall under- storey vegetation as a factor in the poor development of oak seedlings beneath mature stands.** J. Ecol. 82, 227–237.

MCCAMMENT, C.L., MCCARTHY, B.C., 2005. **Two-year response of *Castanea dentata* (*Castanea dentata*) seedlings to shelterwood harvesting and fire in a mixed-oak forest ecosystem.** Canadian Journal of Forest Research 35, 740–749.

NEWBOLD, A.J., GOLDSMITH, F.B., 1990. **The regeneration of oak and beech: a literature review.** Discussion Papers in Conservation, no. 33. University College, London, 112 pp.

ORTDR, OXBOROUGH K, WISE RR.1994. **Depressions of photosynthesis in crops with water deficits.** In: Baker NR, Bowyer JR, eds. Photoinhibition of photosynthesis from molecular mechanisms to the field. Oxford: BIOS Scientific Publishers Ltd, 315–329.

PIJUT, PAULA M. **Planting and care of fine hardwood seedlings: Planting hardwood seedlings in the Central Hardwood Region.** 2003. Purdue University. FNR- 210.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. ( Sexta Ed.). **Biologia vegetal.** Rio de Janeiro: Guanabara Kogan. 2001. 906 p.

REBBECK J, GOTTSCHALK K, SCHERZER A (2011). **Do chestnut, northern red, and white oak germinant seedlings respond similarly to light treatments?** Growth and biomass. Can J For Res 41:2219–2230.

ROBAKOWSKI, P., WYKA, T., 2003. **Acclimation of silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings to irradiance conditions under canopies of different tree species in Sudety Mts. Polish. J. Ecol. 51 (3), 323– 337.**

ROBSON TM, Rodríguez-Calcerrada J, Sánchez-Gómez D, Aranda I (2009) **Summer drought impeded beech seedling performance more in a sub-Mediterranean forest understory than in small gaps.** Tree Physiol 29:249–259.

- RODRÍGUEZ-CALCERRADA J, MUTKE S, ALONSO J, GIL L, PARDOS JA, ARANDA I. (2008) **Influence of overstory density on understory light, soil moisture, and survival of two underplanted oak species in a Mediterranean montane Scots pine forest.** *Investigacion Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 17(1):31–38.
- ROSS-DAVIS, A.L., BROUSSARD, S.R., JACOBS, D.F., et al. 2005. **Afforestation behavior of private landowners: an examination of hardwood tree plantings in Indiana.** *Northern Journal of Applied Forestry* 22:149-153.
- SMITH, C. WAYNE., JAVIER BETRÁN, AND E. C. A. RUNGE. **Corn: Origin, History, Technology, and Production.** Hoboken, NJ: John Wiley, 2004.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Assimilação de Nutrientes.* **Taiz, L.; Zeiger, E. Fisiologia Vegetal.** Porto Alegre: Artmed, p. 918, 2013.
- TINDALL, J.R. et al. **Ecological status of *Castanea dentata* in its native range in Canada.** *Canadian Journal of Forest Research.* 34: 2554-2563. 2004.
- TORMOEHLLEN, B., GALLION, J., AND SCHMIDT, T.L. 2000. **Forests of Indiana: A 1998 overview.** USDA Forest Service, NE Area State and Private Forestry, NA-TP-03-00. 18 p.
- USDA(United States Department Of Agriculture). *Quercus rubra.* Natural Resources Conservation Service. Plant guide, 2003. Disponível em: <[https://plants.usda.gov/plantguide/pdf/cs\\_quru.pdf](https://plants.usda.gov/plantguide/pdf/cs_quru.pdf)>. Acesso em: 22 junho 2016.
- USDA, NRCS (Natural Resources Conservation Service). **Official Soil Series Descriptions (OSDs)** Disponível em : <[https://soilseries.sc.egov.usda.gov/OSD\\_Do cs/H/HOSMER.html](https://soilseries.sc.egov.usda.gov/OSD_Do%20cs/H/HOSMER.html)> (Acesso em setembro, 2015).
- USDA, Forest Service. **U.S. Forest Resource Facts and Historical Trends.** FS-1036. August, 2014. 64p.

U.S. Census Bureau, **Census of Population and Housing**, Unit Counts, CPH-2-16, Indiana U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 2015. Disponível em: <<http://www.stats.indiana.edu/sip/population.aspx?page=all&ct=S18>>. (Acesso em Maio, 2016).

USGS (United State Geological Survey). **Digital Representations of Tree Species Range Maps**. Disponível em: <<http://gec.cr.usgs.gov/data/little/querrubr.pdf>>. Acesso em: junho de 2016.

VAN DE GEVEL, S., HART, J., Spond, M., White, P., Sutton, M., Grissino-Mayer, H. *Castanea dentata* to *Quercus rubra*: forest dynamics of an old-growth forest in the Blue Ridge Mountains, USA. **Botany**. 90:1263. 2012.

WEBER, J. A.; GATES, D. M. Gas exchange in Northern red oak (*Quercus rubra*) during a drought: analysis of relations among photosynthesis, transpiration, and leaf conductance. **Tree physiology**, v. 7, n. 1\_2\_3\_4, p. 215–225, 1990.

WELANDER, N. T.; OTTOSSON, B. The influence of shading on growth and morphology in seedlings of *Quercus robur* L. and *Fagus sylvatica* L. **Forest Ecology and Management**, v. 107, n. 1-3, p. 117–126, 1998.

WHITEHEAD, David et al. **Response of total night-time respiration to differences in total daily photosynthesis for leaves in a *Quercus rubra* L. canopy: implications for modelling canopy CO<sub>2</sub> exchange**. *Global Change Biology*, v. 10, n. 6, p. 925-938, 2004.

WOESTE, K., McKENNA, J. **Diagnosing and Controlling Wildlife Damage in Hardwood Plantations**. North Central Research Station, USDA Forest Service Department of Forestry and Natural Resources, Purdue University. Fnr-216. 8 p. 2004. Disponível em <<https://www.extension.purdue.edu/extmedia/fnr/fnr-216.pdf>> , Acesso em: 15 junho 2016.

WOODALL, C, JOHNSON, D, GALLION, J, et al. P. 2005. **Indiana's forests 1999-2003 (Part A). USDA Forest Service, North Central Research Station.** Resource Bulletin NC-253A. St. Paul, MN. 94 p.