

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Matheus Degrandi Gazzola

**SEMEANDO A RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: SEMEADURA DIRETA
DE ESPÉCIES FLORESTAIS NA TRANSIÇÃO PAMPA – MATA
ATLÂNTICA**

Santa Maria, RS
2021

Matheus Degrandi Gazzola

**SEMEANDO A RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: SEMEADURA DIRETA DE
ESPÉCIES FLORESTAIS NA TRANSIÇÃO PAMPA – MATA ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Orientadora: Prof^ª Dr.^a Ana Paula Moreira Rovedder

Santa Maria, RS

2021

GAZZOLA, MATHEUS DEGRANDI
SEMEANDO A RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: SEMEADURA DIRETA DE
ESPÉCIES FLORESTAIS NA TRANSIÇÃO PAMPA - MATA ATLÂNTICA /
MATHEUS DEGRANDI GAZZOLA.- 2021.
72 p.; 30 cm

Orientadora: ANA PAULA ROVEDDER
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2021

1. espécies de cobertura 2. muvuca de sementes 3.
desenvolvimento inicial 4. clima subtropical I.
ROVEDDER, ANA PAULA II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(s). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

© 2021

Todos os direitos autorais reservados a Matheus Gazzola. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: RST 287, n 6380, ap 307. Bairro Camobi, Santa Maria, RS. CEP: 97105-910.

E-mail: matheus.d.gazzola@gmail.com

Matheus Degrandi Gazzola

**SEMEANDO A RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: SEMEADURA DIRETA DE
ESPÉCIES FLORESTAIS NA TRANSIÇÃO PAMPA – MATA ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

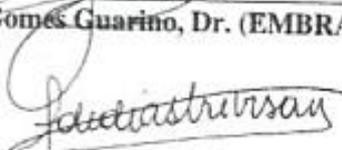
Aprovado em 3 de setembro de 2021:



Ana Paula Moreira Rovedder, Dr.^a (UFSM) - Videoconferência



Ernestino de Souza Gomes Guarino, Dr. (EMBRAPA) - Videoconferência



Adriana Carla Dias Trevisan, PhD (UERGS) - Videoconferência

DEDICATÓRIA

Ao meu filho Davi, a voz pela qual a terra me chamou mais forte. À minha companheira Tainara, minha confidente em alto mar e, ao mesmo tempo, um verdadeiro farol em minhas navegações. À minha família, base do barro em que fui moldado.

AGRADECIMENTOS

Sinto muito orgulho em dizer que foi graças a uma grande rede de cooperações que eu cheguei até aqui. As dificuldades no caminho não foram poucas, pois os contextos sofreram grandes reviravoltas no percurso, do âmbito pessoal ao global. Eu sempre soube que em cada semente que plantei havia um futuro com força autônoma pra germinar.

Manifesto imensa gratidão:

- ❖ à minha orientadora Ana Paula Rovedder, por ter sido orientadora instigante e com empatia incansável, e por honrar minha perspectiva de vida, de pesquisa e de escrita;
- ❖ à minha companheira Tainara, por todas as horas de trabalho e cuidados compartilhados, por escolher caminhar ao meu lado, por “segurar as pontas” durante as saídas de campo e as noites de escrita;
- ❖ aos meus pais Valdir e Janete, por todo o apoio estrutural que me deram para o experimento, literalmente arrancando tocos para abrir caminho à ciência. Essa conquista começou no suor de vocês, que sempre priorizaram meu estudo;
- ❖ ao meu filho Davi, por me ensinar que o tempo é dobrável, e que o caminho a seguir é para dentro;
- ❖ ao meu irmão Giovani e aos colegas e amigos Jhonitan, Rodrigo, Jéssica e Betina, pelo auxílio nas implantações, avaliações e análises;
- ❖ ao amigo Ricardo Bergamo Schenato, pela ajuda no delineamento experimental e na estatística dos dados coletados;
- ❖ à Caroline Malmann, pela provocação com a ideia da semeadura direta;
- ❖ à toda equipe da DDPA (antiga Fepagro), que com pouquíssimos recursos e muita bravura conservam uma grande diversidade de sementes florestais, as quais utilizei no experimento;
- ❖ à universidade pública, gratuita e de qualidade, pela grandiosidade em amparar toda a minha trajetória acadêmica, profissional e vocacional;
- ❖ à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo consentimento da bolsa de estudos durante o mestrado.
- ❖ à Associação Brasileira de Estudantes de Engenharia Florestal (ABEEF), pela consciência política e social;
- ❖ aos compadres Pedro e Bruna, por serem os melhores amigos e companheiros de trabalho.

Gratidão a todos os seres iluminados que me ensinaram que a restauração, quando feita com propósito e amor à terra, tem mais chances de dar certo. Gratidão a cada semente que me foi plantada no peito: apesar de querer que todas germinassem (todas as ideias e iniciativas), eu sei que cada uma que emerge carrega consigo a energia das que serviram de alimento à terra.

“Eu quero morar
Numa casinha feita à mão
Numa floresta onde eu possa plantar o que eu quiser
E andar de pés no chão [...]”

Nanan Zanatta, em *Casa da Floresta*

RESUMO

SEMEANDO A RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: SEMEADURA DIRETA DE ESPÉCIES FLORESTAIS NA TRANSIÇÃO PAMPA – MATA ATLÂNTICA

AUTOR: Matheus Degrandi Gazzola

ORIENTADORA: Ana Paula Moreira Rovedder

A Semeadura Direta (SD) de espécies florestais vem gerando novas possibilidades para a restauração ecológica nos biomas Cerrado, Mata Atlântica e Amazônia, no Brasil. Na transição ecotonal Pampa - Mata Atlântica, não há estudos que elucidem qualquer fator que influencie a performance da Semeadura Direta de espécies florestais como técnica para restauração ecológica; mais raros ainda para a região são estudos que utilizem plantas de adubação verde como facilitadoras nesses projetos. O presente estudo avaliou a emergência e o desenvolvimento inicial de espécies florestais nativas semeadas diretamente a campo, testando a cobertura nas entrelinhas por espécie de adubação-verde como facilitadora do desenvolvimento inicial das plântulas. O experimento foi conduzido em uma região de baixo a médio potencial de regeneração natural, caracterizada pela transição entre os biomas Pampa e Mata Atlântica, na Depressão Central do Rio Grande do Sul. Dezesesseis espécies florestais com ocorrência natural para a região foram testadas em linhas de semeadura direta com dois tratamentos de entrelinhas - em pousio (controle) e com cobertura-verde de feijão-de-porco (*Cannavalia ensiformis*). Foram avaliados mensalmente, durante um ano, o número de emergências, a altura de plântulas e o número de folhas. Seis espécies tiveram estabelecimento de 2 a 16% das sementes, com a tendência de sucesso para as espécies de sementes maiores e com destaque para a família Fabaceae; apenas uma espécie de semente recalcitrante apresentou emergência. A cobertura do feijão-de-porco proporcionou performances de efetivação e altura estatisticamente superiores para *Annona sylvatica* e *Enterolobium contortisiliquum*, sob o teste Wilcoxon de comparação de médias. A mortalidade média de plântulas sob a cobertura verde foi a metade da mortalidade constatada no pousio. A proteção contra o ressecamento fornecida pelo feijão-de-porco no verão foi mais efetiva que a proteção contra a geada, no inverno, devido à sensibilidade da própria cobertura ao frio. A geada foi constatada como um fator limitante ao estabelecimento e retardante do desenvolvimento de algumas espécies florestais menos resistentes ao frio, o que deve ser levado em consideração na seleção de espécies para a restauração ecológica por semeadura direta na região. Para o uso de adubação verde como facilitação ao desenvolvimento inicial de espécies florestais por semeadura direta em clima temperado, recomenda-se maior densidade de sementes de adubação e consórcio com outras espécies de cobertura, sobretudo com moderada resistência ao frio. Para a continuação das pesquisas, recomenda-se o aprofundamento em fatores como a qualidade e o tamanho das sementes florestais, a resposta das diferentes épocas do ano, a densidade e a profundidade de semeadura.

Palavras-chave: espécies de cobertura; Muvuca de sementes; Desenvolvimento inicial; Clima subtropical.

ABSTRACT

SOWING ECOLOGICAL RESTORATION: DIRECT SEEDING OF FOREST SPECIES IN THE PAMPA – ATLANTIC FOREST TRANSITION

AUTHOR: Matheus Degrandi Gazzola
ADVIDOR: Ana Paula Moreira Rovedder

Direct seeding of forest species has generated new possibilities for ecological restoration in the Cerrado, Atlantic Forest and Amazon biomes in Brazil. In the ecotonal transition between the Pampa and the Atlantic Forest, there are no studies that elucidate any factor that influences the performance of Direct Seeding (SD) of forest species as a technique for ecological restoration; even rarer for the region are studies that use green manure plants as facilitators in these projects. The present study evaluated the emergence and initial development of native forest species sown directly in the field, testing the coverage between the rows by green manure species as a facilitator of the initial development of seedlings. The experiment was conducted in a region of low to medium potential for natural regeneration, characterized by the transition between the Pampa and Atlantic Forest biomes, in the Central Depression of Rio Grande do Sul. Sixteen naturally occurring forest species in the region were tested in rows of direct seeding with two treatments between rows - fallow (control) and green cover with jack bean (*Cannavalia ensiformis*). The number of emergences, the height of seedlings and the number of leaves were evaluated monthly, for one year. Six species had established from 2 to 16% of the seeds, with a trend of success for the species with larger seeds and with emphasis on the Fabaceae family; only one species of recalcitrant seed showed emergence. The jack bean coverage provided statistically superior performance and height for *Annona sylvatica* and *Enterolobium contortisiliquum*, under the Wilcoxon test for comparison of means. The average mortality of seedlings under the green cover was half of the mortality observed in the fallow. The protection against dryness provided by the jack bean in the summer was more effective than the protection against frost in the winter, due to the sensitivity of the cover itself to the cold. Frost was found to be a limiting factor to the establishment and retarding the development of some forest species less resistant to cold, which should be taken into account in the selection of species for ecological restoration by direct seeding in the region. For the use of green manure to facilitate the initial development of forest species by direct seeding in temperate climate, it is recommended a higher density of fertilizer seeds and intercropping with other cover species, especially with moderate resistance to cold. For further research, it is recommended to go deeper into factors such as the quality and size of forest seeds, the response at different times of the year, density and sowing depth.

Keywords: cover species; Seed Muvuca; Initial development; Subtropical climate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização dos Municípios de São Pedro do Sul e Santa Maria no Rio Grande do Sul e no Brasil.	24
Figura 2 – Foto de satélite da região de transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica, sede do experimento de semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica.	25
Figura 3 – Diagrama com os principais fatores contrastantes do uso dos solos das áreas experimentais A1 e A2.	27
Figura 4 – Sementes florestais utilizadas no experimento de semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.	28
Figura 5 – Desenho experimental da semeadura direta de espécies florestais desenvolvida na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.	31
Figura 6 – Croqui geral de implantação do experimento de semeadura direta de espécies florestais desenvolvido na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.	32
Figura 7 – Taxas de Emergência (a), Mortalidade (b) e Efetivação (c), separadas por cobertura, para as espécies florestais responsivas à semeadura direta na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica, RS.	42
Figura 8 - Altura e quantidade média de folhas aos 360 dias após semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica, RS.	43
Figura 9 – Série de crescimento de <i>Annona sylvatica</i> em semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.	44
Figura 10 – Plântulas de <i>A. sylvatica</i> em semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.	45
Figura 11 - Série de crescimento de <i>Bauhinia forficata</i> em semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.	46
Figura 12 - Plântulas de <i>B. forficata</i> em semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.	47
Figura 13 - Série de crescimento de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> em semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.	48
Figura 14 - Plântulas de <i>B. forficata</i> em semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.	49
Figura 15 - Plântulas de <i>M. bimucronata</i> em semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.	50
Figura 16 - Série de crescimento de <i>Mimosa bimucronata</i> em semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.	51
Figura 17 - Série de crescimento de <i>Parapiptadenia rigida</i> em semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.	52
Figura 18 - Plântulas de <i>P. rigida</i> em semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.	53
Figura 19 - Série de crescimento de <i>E. uniflora</i> em semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.	54
Figura 20 - Plântulas de <i>E. uniflora</i> em semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.	55

Figura 21 – Desenvolvimento de <i>Cannavalia ensiformis</i> (feijão-de-porco) como cobertura verde no experimento de semeadura direta de espécies florestais na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.	56
Figura 22 – Cobertura do solo proporcionada pelos tratamentos de espécies espontâneas e semeadas na entrelinha de semeadura direta de espécies florestais na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.	58
Figura 23 – Número de plântulas vivas a cada 30 dias após a semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aspectos químicos da camada de 0-10 cm dos solos de A1 e A2 em semeadura direta de espécies florestais.....	27
Tabela 2 – Espécies florestais testadas em semeadura direta na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.....	28
Tabela 3 – Meses correspondentes das avaliações de 0 a 360 DAS da semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.....	33
Tabela 4 – Análise comparativa pelo teste de Kruskal-Wallis para número de plântulas vivas aos 360 DAS, altura (cm) e número de folhas entre os fatores de Cobertura e de Espécies florestais ($p < 0.05$), em semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.....	37
Tabela 5 – Respostas por espécie após 360 dias da semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.....	38
Tabela 6 – Características morfológicas e ecológicas das sementes de espécies florestais em semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.....	40
Tabela 7 – Desempenho das espécies florestais nos tratamentos de cobertura após um ano de semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.....	60

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
REFERENCIAL TEÓRICO	18
RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA NO BRASIL	18
TRANSIÇÃO PAMPA – MATA ATLÂNTICA	19
A AGROECOLOGIA DA SEMEADURA DIRETA	21
MATERIAL E MÉTODOS	24
LOCALIZAÇÃO	24
CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS	26
PREPARO DO SOLO	28
ESPÉCIES FLORESTAIS	28
ESPÉCIE DE COBERTURA	30
DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	30
MENSURAÇÕES	32
CÁLCULO DAS TAXAS	33
ANÁLISE DOS DADOS	35
RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
DESEMPENHO GERAL	36
DESEMPENHO DAS ESPÉCIES FLORESTAIS	37
EFEITO DA COBERTURA	55
VARIÁVEIS ANALISADAS E QUALIDADE DA RESPOSTA	60
CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIAS	64
APÊNDICES	71

INTRODUÇÃO

Como ferramenta estratégica para a mitigação dos impactos gerados pelas ações antrópicas nos ecossistemas, a restauração ecológica tem ganhado destaque nas últimas décadas. O Brasil, com um vasto território destinado a atividades primárias (agricultura, pecuária e mineração), é signatário de acordos internacionais para redução da emissão de gases do efeito estufa e pela restauração da vegetação nativa, como o Desafio de Bonn, aderido em 2016. Trata-se de um esforço global pela restauração de 150 milhões de hectares de ecossistemas naturais até 2020 e de 350 milhões de hectares até 2030. O compromisso brasileiro para 2030 é de restaurar, reflorestar e promover a recuperação natural de 12 milhões de hectares de florestas e a implementação de 5 milhões de hectares de sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (BRASIL, 2016).

Segundo o portal de informações atualizadas dos compromissos assumidos para o Desafio de Bonn, o Brasil conta hoje com mais de 9 milhões de hectares de áreas originalmente florestais sob restauração, muitas delas na Amazônia (WRI, 2020). Mas para além dos desafios em restaurar, cabe ressaltar a importância da conservação dos ecossistemas. Uma vez que um ambiente é degradado, sofre impactos irreversíveis, mesmo recebendo técnicas avançadas de restauração ecológica (BRANCALION et al., 2015). Chazdon e Brancalion (2019) ressaltam que alcançar metas de restauração ambiciosas parece improvável sem diretrizes e ferramentas práticas, alinhamento institucional, mecanismos de responsabilização e uma base sólida de evidências. Os mesmos autores garantem que ainda existem enormes lacunas entre o foco de alto nível na restauração e a implementação no solo.

O aumento da escala da restauração, a eficiência de custo (MOLIN et al., 2018; STRASSBURG et al., 2019) e a redução da mão-de-obra em manutenção e monitoramento dos projetos de restauração são os atuais desafios da restauração ecológica enquanto prática. Estas fronteiras técnico-científicas instigam as universidades, órgãos ambientais e institutos a testar novos métodos e abordagens e buscar por indicadores para o monitoramento que possam definir atributos seguros de ecossistemas restaurados (OLIVEIRA & ENGEL, 2017a), integrando o manejo adaptativo como metodologia de aprimoramento das técnicas.

Há demandas pelo entendimento dos limites e potenciais de cada espécie, conforme a técnica utilizada e o ecossistema alvo. Nos últimos anos, tem crescido a necessidade de integração das diretrizes dos projetos de restauração com as práticas ambientais das comunidades locais circundantes, entendendo-as como parte integrante que são da paisagem

viva (OLIVEIRA & ENGEL, 2017b), e com o protagonismo que têm para o sucesso da restauração ecológica (REYES-GARCÍA et al., 2019).

O Brasil possui seis biomas reconhecidos – Amazônia, Caatinga, Cerrado, Pantanal, Mata Atlântica e Pampa – e o uso de uma mesma técnica de restauração em cada um desses biomas pode gerar resultados muito distintos, a depender dos mecanismos do ecossistema em que está inserido, das condições locais de resiliência ecológica, da manutenção e do monitoramento da iniciativa. A necessidade de pesquisas com técnicas de restauração ecológica já validadas em outros biomas e ecossistemas é, portanto, de confirmada importância.

O bioma Mata Atlântica, assim como os biomas Cerrado e Amazônia, tem sido palco de grandiosos avanços nas técnicas e na definição de protocolos de restauração. Ainda assim, por ser um bioma com distintos ecossistemas e que vai do Nordeste ao Sul do Brasil, carece de informações mais específicas a respeito da recomposição de suas tipologias regionais por meio de novas técnicas e abordagens.

No estado do Rio Grande do Sul, o Pampa representa 63% do território. Este bioma, que recobre 2% do território nacional, apesar de ser conhecido mundialmente como um bioma essencialmente campestre, possui ecossistemas florestais (OVERBECK et al., 2015). Sua linha de contato com a Mata Atlântica forma uma zona de transição ecotonal, caracterizada por elementos de fauna e flora representantes de ambos os biomas.

Os ecossistemas florestais e campestres do estado têm sido sistematicamente depauperados com a expansão territorial dos cultivos de grãos e de madeira para celulose. Resta hoje apenas uma pequena proporção de floresta com relação à original, pois além do desmatamento como causa direta, o pastoreio do gado em florestas compromete o futuro da sucessão (STEFANELLO, 2019). Nos ecossistemas campestres, por outro lado, quando em lotação adequada e em sistema de rodízio de pasto, o gado garante a manutenção da biodiversidade e auxilia na manutenção (WALDRAM, 2007; GOMES, 2020).

O plantio de mudas é o método mais usual de restauração ecológica na Mata Atlântica (RODRIGUES et al., 2009; OLIVEIRA e ENGEL, 2017c) em âmbito nacional. Urruth (2021, no prelo) ressalta que 64% dos projetos de recuperação de áreas degradadas tramitados na Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA) do Rio Grande do Sul utilizam o plantio de mudas e a regeneração natural como técnicas de recuperação, e que apenas 28% dos projetos desta mesma base de dados obtêm sucesso ecológico. Nas formações florestais do Pampa e na Mata Atlântica, o método de plantio adensado de mudas pode acarretar custos de até 21 mil reais por hectare (BENINI, 2017), em condições climáticas e logísticas desfavoráveis. A

produção de mudas demanda um envolvimento de diversos setores, que vão desde a coleta de sementes, produção de substratos e recipientes, sistemas de irrigação e aclimatação, transporte e plantio de mudas a campo.

Com o amadurecimento da ciência da restauração ecológica no Brasil e no mundo, outras técnicas têm ganhado espaço no universo de ferramentas para a restauração de ecossistemas. Com mais ferramentas e técnicas à disposição, o profissional restaurador conta, hoje, com a possibilidade de pesar os prós e contras de cada técnica, de acordo com a realidade local e do entorno da área a ser restaurada, para seguramente chegar a um *mix* das técnicas mais adequadas à situação. Algumas técnicas que ganharam atenção nos últimos anos, com índices de sucesso mais elevados em contextos socioambientais favoráveis, são os Sistemas Agroflorestais e a Semeadura Direta. São técnicas de restauração ecológica e social que trabalham sob uma lógica sistêmica de aprimoramento e desenvolvimento, ambas resgatadas e inspiradas em práticas ancestrais de agricultura e florestamento.

Tomando a semeadura direta como inspiração de inovação no âmbito das técnicas de restauração ecológica no Brasil e no mundo, por seu potencial de fortalecimento de tecnologias sociais e de redes socioprodutivas locais, o presente trabalho se debruça sobre algumas lacunas técnicas, tendo como referências estudos da área da tecnologia de sementes, silvicultura de espécies nativas, agroecologia e restauração ecológica.

A técnica de Semeadura Direta tem gerado novos contornos para o cenário da restauração ecológica brasileira. No estado do Rio Grande do Sul a técnica é muito incipiente, mas algumas organizações e pesquisadores da Amazônia, do Cerrado e da Mata Atlântica têm obtido resultados promissores com a técnica (DURIGAN et al., 2013; PELLIZZARO et al., 2017; SOUZA & ENGEL, 2018). A SD é uma técnica de custo relativamente baixo que permite a introdução simultânea de plantas de diferentes formas de crescimento (PALMA & LAURANCE, 2015), dispensando a produção e o transporte de mudas. A técnica permite a mecanização e uma maior densidade de semeadura, e forma comunidades mais adaptadas às condições ambientais locais da implantação (BRANCALION et al., 2015). Dentre os desafios e fronteiras científicas desta técnica, vale mencionar a necessidade de grande disponibilidade de sementes com boa qualidade fisiológica, e a quebra de dormência das sementes - um processo que depende da morfologia e fisiologia de cada espécie e requer melhorias e adaptações constantemente.

Em áreas da região com baixa resiliência ecológica e com demanda de alta diversidade de espécies florestais a ser promovida, os projetos de restauração ecológica podem lançar mão

de várias técnicas simultaneamente e em sinergia, sendo a SD uma técnica potencialmente complementar (CECCON, 2016), que precisa ser validada e considerada no Brasil de clima temperado, ainda que para um grupo seletivo de espécies adaptadas à técnica.

Na transição ecotonal do Pampa com a Mata Atlântica, não há estudos que elucidem qualquer fator que influencie a performance da Semeadura Direta (SD) de espécies florestais como técnica para restauração ecológica; também escassos na região são estudos que utilizem plantas de adubação verde como facilitadoras em projetos de restauração ecológica. Com o objetivo de avaliar a emergência e o desenvolvimento inicial de espécies florestais nativas semeadas diretamente a campo, o presente estudo trabalha com as hipóteses de que (i) solos com pedologia semelhante e histórico de uso distintos terão performances diferentes na resposta à SD; (ii) o sombreamento por espécies de cobertura influencia a emergência e o desenvolvimento inicial das espécies florestais na SD; (iii) as geadas são eventos retardantes para o desenvolvimento inicial de plântulas florestais a campo aberto na região.

Ao longo do trabalho, foram cumpridos os objetivos específicos a seguir:

- Avaliar a emergência e o desenvolvimento inicial das plântulas de espécies florestais;
- Estudar a influência das condições meteorológicas no desenvolvimento das plântulas;
- Relacionar o desempenho das espécies florestais com o efeito da cobertura nas entrelinhas.
- Propor recomendações para a continuidade dos estudos e práticas com semeadura direta para restauração ecológica no Sul do Brasil.

REFERENCIAL TEÓRICO

RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA NO BRASIL

A restauração ecológica é uma atividade intencional que inicia ou acelera a recuperação de um ecossistema em relação à sua saúde, integridade ou sustentabilidade (SER, 2004). Ela se diferencia das demais áreas do conhecimento dedicadas à ‘recuperação’ de áreas degradadas, segundo Brancalion et al. (2015), principalmente com relação à sua meta geral. Suas metas transcendem os conceitos de revegetação, reabilitação ou recuperação. Gandolfi e Rodrigues (2007) esclarecem que o objetivo maior da restauração é a reconstrução de ecossistemas naturais, e o sucesso dessa empreitada depende do êxito da flora regional e do reestabelecimento dos processos ecológicos responsáveis pela reconstrução e manutenção de uma comunidade funcional.

As práticas de restauração ecológica transitaram por distintos focos ao longo da história recente das atividades humanas no sentido de recuperar a cobertura vegetal e, sobretudo, as funcionalidades e a diversidade florística dos ecossistemas nativos. Levou muito tempo para o entendimento gradual dos fatores que regem a diversidade e a distribuição das espécies, seus grupos sucessionais e a dinâmica da floresta ao longo do tempo. O Pacto pela Restauração da Mata Atlântica (RODRIGUES et al., 2009) elucida diferentes fases da evolução dos conceitos e dos métodos aplicados em projetos de restauração florestal no Brasil, de acordo com as prioridades que orientaram as ações. A fase atual se depara com inúmeros desafios no sentido da efetivação ecológica de florestas restauradas, buscando principalmente a funcionalidade dos componentes, para que os serviços ecossistêmicos sejam o maior fruto da restauração, e não apenas uma fisionomia de floresta.

Brancalion et al. (2015) ressaltam que um ecossistema, ainda que tido como ‘restaurado’, nunca será idêntico ao que existia no local antes da degradação, e muito menos com o ecossistema usado como referência; ele deverá ser apenas semelhante ao ecossistema usado como referência para a restauração, mas não apenas em fisionomia, como também na composição florística, na estrutura e no funcionamento. As prioridades estão deixando de ser a reconstrução meramente fisionômica das áreas, e agora passam a abordar de forma mais íntegra os processos ecológicos que mantêm as comunidades naturais, também atentando às outras formas de vida que não as arbóreas e herbáceas como indicadores do sucesso da vegetação. O

tripé diversidade – estrutura – funcionamento forma a base da restauração ecológica nos estados atuais da arte desta ciência, cada vez mais aliados aos fatores sociais.

TRANSIÇÃO PAMPA – MATA ATLÂNTICA

A zona de contato entre os biomas Pampa e Mata Atlântica ocorre no Rio Grande do Sul associada a mudanças no relevo e na pedologia, mas os fatores que regem a dinâmica destes biomas e, portanto, da zona de transição entres esses biomas, envolvem fatores antropogênicos, na contramão de fatores climáticos. A visibilidade da importância da Mata Atlântica está até hoje em um patamar mais seguro e consolidado quando comparada com a importância do Pampa, no que tange a sua vegetação campestre ser menos vistosa e exuberante que as florestas. Apenas em 2004 o bioma Pampa foi reconhecido como bioma (IBGE, 2004).

O bioma Pampa é território de ampla diversidade florística, principalmente em suas formações campestres (MMA, 2018). As matas ciliares do Pampa têm papel marcadamente importante na expansão austral das fisionomias florestais da Mata Atlântica, em decorrência da associação das espécies arbóreas com a umidade. A fisionomia do Pampa é marcada por manchas florestais, chamadas de capões – do tupi “*ka'a pau*”, "mato isolado". Segundo Rambo (1956), os capões são formações de pequenos aglomerados de floresta natural (com poucos hectares), que geralmente circundam nascentes. É nos capões e nas calhas de rios ao longo dos campos que as espécies típicas da Mata Atlântica se inserem no recorte do Pampa.

De acordo com Pillar (2003), o clima da região, em comparação com o presente, era mais seco e frio até 10.000 anos AP; mais quente e estacional entre 10.000 e 4.000 anos AP e mais frio e úmido aproximando-se do clima atual. Para Marchiori (2004), o aquecimento e umedecimento ocorridos nos dois últimos períodos geológicos permitiram que a vegetação selvática penetrasse no Rio Grande do Sul, partindo de centros de dispersão situados ao norte, tanto pelo litoral como pelo interior do continente, ao longo dos rios Paraná e Uruguai.

Outro fator importante para a mudança da paisagem da região data de aproximadamente 8.000 anos atrás: a extinção da megafauna que habitava os campos (KERN, 1997, apud PILLAR, 2003). A megafauna cumpria um papel ecossistêmico de manutenção da vegetação rasteira e controle da biomassa, atenuando o impacto dos incêndios que ocorriam. Com a mudança na composição da fauna, a fisionomia dos campos passou por adaptações. Cerca de 7.600 anos depois, com a chegada dos europeus com as Missões Jesuíticas em 1605, os

colonizadores trouxeram novos grandes herbívoros para o bioma Pampa, principalmente bovinos e equinos.

Todos esses eventos bióticos moldados pelo ser humano regeram a dinâmica do Pampa com as florestas ao norte. De acordo com Cruz e Guadagnin (2012, p. 167),

A paisagem aberta é herança do clima e do ser humano, que maneja estes campos a 12.000 anos. Se não houvesse manejo humano, uma grande proporção do Pampa seria coberta por florestas. A dominância da vegetação campestre é mantida por um processo de manejo que implica em um sistema de perturbações que provoca regressão no processo de sucessão que, se não houvesse manejo, levaria a uma substituição do bioma Pampa pelo bioma Mata Atlântica, com ritmos diferenciados, dada a heterogeneidade de solos que ocorre na região. Pode-se assim dizer que o Pampa que existe hoje, e que deve ser preservado, gerou e foi gerado pelo gaúcho. Pode-se afirmar que houve uma co-evolução entre a cultura do gaúcho e o sistema de campos atual do bioma Pampa.

As espécies florestais presentes na zona de contato entre os biomas Pampa e Mata Atlântica são testemunhas da linha de frente da batalha travada entre as forças naturais de expansão florestal e a força humana de fazer lavouras de grãos e madeira e criar animais. Com tantas transformações ocorridas em um território em escalas de tempo cada vez menores, é certo dizer que a transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica é uma área de tensão ecológica, atravessada por fatores ambientais, culturais e socioeconômicos.

Hoje, mais da metade do Pampa é área degradada. Em termos proporcionais, é o segundo bioma mais devastado do Brasil, perdendo apenas para a Mata Atlântica; apenas 3,3% do Pampa brasileiro é protegido por unidades públicas de conservação (O ECO, 2018). Toda a pressão sobre as áreas campestres torna suscetível sua biodiversidade, aumentando os índices de invasão por espécies exóticas e causando desequilíbrios sistêmicos sem precedentes. O conceito de prosperidade que o humano passou a cultivar nas últimas duas décadas em todo o Pampa se distanciou do conceito de prosperidade que servia ao ecossistema. A sojicultura e a silvicultura em áreas campestres, de valiosa aptidão pecuária, e intenso desmatamento em áreas com potencial turístico. Desenvolver as técnicas de restauração ecológica das florestas do Pampa e da sua transição com a Mata Atlântica é imprescindível para trazer luz aos mecanismos socioprodutivos e tecnologias sociais aliadas à conservação dos recursos florestais da região.

A AGROECOLOGIA DA SEMEADURA DIRETA

As unidades de paisagem que ainda desfrutam de uma boa resiliência ecológica para que a regeneração possa acontecer naturalmente, por meio de seus processos de dispersão de sementes e frutos viáveis, fornecem inspiração aos praticantes da restauração ecológica. Em áreas com baixa resiliência ecológica destinadas à restauração, o ser humano tem a oportunidade de testar a compreensão dos processos e o compasso das ações, mimetizando os processos ecológicos da natureza, fecundando o solo com as sementes como quem planta qualquer cultivo agrícola - inclusive utilizando espécies de adubação verde e até mesmo máquinas para semeadura agrícola - enquanto age em sintropia com estes processos, acelerando-os de forma sábia e estratégica. Não apenas ecossistemas florestais podem renascer desta técnica, mas também fisionomias savânicas e campestres.

Existem diversas formas de disposição das sementes nas operações da SD feitas atualmente. Tanto em linhas como em covas ou em área total. Em todas elas se utiliza uma tecnologia social muito preciosa: a muvuca de sementes. *Muvuca* é uma palavra de origem indígena, e significa mistura. É essa mistura de sementes de várias espécies nativas e de adubação verde que proporciona a germinação simultânea de plantas com comportamentos diferentes, criando uma diversidade de ambientes que atrai animais, que acabam por trazer outras espécies vegetais.

Pela vantagem de acelerar a cobertura e a diversidade de espécies simultaneamente, a técnica de muvuca de sementes é utilizada também na implantação e enriquecimento de sistemas agroflorestais (SAF). Os SAF visam a produção de alimentos (grãos, tubérculos, raízes, hortaliças e frutas), plantas medicinais, fibras, madeiras e outros produtos e serviços ecossistêmicos diretos e indiretos, aliando várias espécies vegetais e inserindo o ser humano como elemento-chave para a maximização da produção e da sucessão ecológica do ecossistema ao qual está inserido. Por todos esses fatores, os sistemas agroflorestais figuram não apenas como uma forma de agricultura que utiliza a semeadura direta, mas como uma técnica de restauração ecológica conectada com as demandas sociais locais.

Propor a semeadura direta e a muvuca de sementes como formatos de restauração ecológica no Rio Grande do Sul sem mencionar a importância e o papel crucial das Redes de coletores e das Redes de sementes é como propor uma solução sem lastro na verdade. São múltiplas as possibilidades de geração de renda e de valorização da socio-biodiversidade local que moram na perspectiva de abertura desse nicho no mercado da restauração ecológica gaúcha.

Com o avanço das técnicas de SD no Brasil central, fica evidente que não existe restauração por muvuca de sementes sem rede de coletores. De acordo com a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (nº 12.651/12), 12,5 milhões de hectares deveriam ser restaurados em todo o país até 2030. Isso representa a necessidade de um arranjo produtivo robusto para atender uma produção anual de centenas a milhares de toneladas de semente nativas.

No contexto regional, nem mesmo para a produção de mudas de espécies florestais há um fornecimento de sementes em qualidade genética e quantidade satisfatórias. Essa deficiência sistêmica por sementes florestais gera prejuízos genéticos às iniciativas de restauração florestal, e prova disso é o dado de que 30% dos projetos de RAD tramitados na SEMA-RS contém espécies alóctones (URRUTH, 2021, no prelo). A semeadura direta, portanto, enquanto prática restauradora de ambientes de baixa resiliência, ainda se encontra em um terreno inóspito para prosperar, pois precisa de condições que a cadeia produtiva de insumos para a restauração ecológica da região ainda não é capaz de fornecer: sementes em grande quantidade e de boa qualidade fisiológica, com ampla variedade de espécies e com variabilidade genética dentro das espécies.

Vencer esses desafios supracitados depende de muito empenho científico e técnico por parte dos/as agentes da restauração ecológica – sejam eles pesquisadores, agricultores, técnicos de assistência e extensão rural; engajamento socioprodutivo, na forma de redes de coletores de sementes; aprimoramento de tecnologias para o beneficiamento de sementes das espécies regionais; aproveitamento das oportunidades para viabilizar as ações.

Se na produção de mudas em viveiros as sementes são cruciais por serem o começo de um longo processo que dura meses, na restauração por semeadura direta elas representam muito mais em proporção. A descoberta do potencial de algumas espécies nativas na SD pode trazer à tona oportunidades valiosas no âmbito socioeconômico. Partindo da realidade de que 70% dos projetos de RAD no Rio Grande do Sul ocorrem em pequenas propriedades, nota-se que a proporção de pequenos produtores envolvidos em autuações é relevante, os quais poderiam se beneficiar da regularização de redes de sementes regionais de espécies nativas.

É mais do que apenas o ser humano ajudando a natureza. É o ser humano entendendo que a natureza sempre produziu tesouros que podem ajudar o homem a se reerguer e, nesse movimento, aprender a respeitar e caminhar no compasso dos processos naturais. Partindo do entendimento de que uma técnica de restauração é composta por elementos-chave e interações para o seu funcionamento, nota-se que os desafios para o desenvolvimento e validação da SD no Sul do Brasil são maiores que apenas os aparatos tecnológicos da técnica em si. Na região

do presente estudo, existem lacunas de técnicas silviculturais básicas para muitas espécies, nas quais outras áreas do conhecimento podem ser valiosas para lograr maiores entendimentos.

A depender das condições bióticas e abióticas que cada espécie florestal exige para germinar, algumas não terão sucesso na técnica de SD. Quando expostas a condições climáticas naturais com baixa previsibilidade, as sementes e plântulas de espécies mais sensíveis ao ressecamento, congelamento ou apodrecimento contam com a própria sorte. Para que os projetos de restauração ecológica não incorram em custos elevados e baixa eficiência ecológica fazendo um uso precipitado da SD na região, o presente estudo fez uma primeira aproximação para dezesseis espécies comuns em iniciativas de restauração, avaliando sua viabilidade de implantação por meio da técnica.

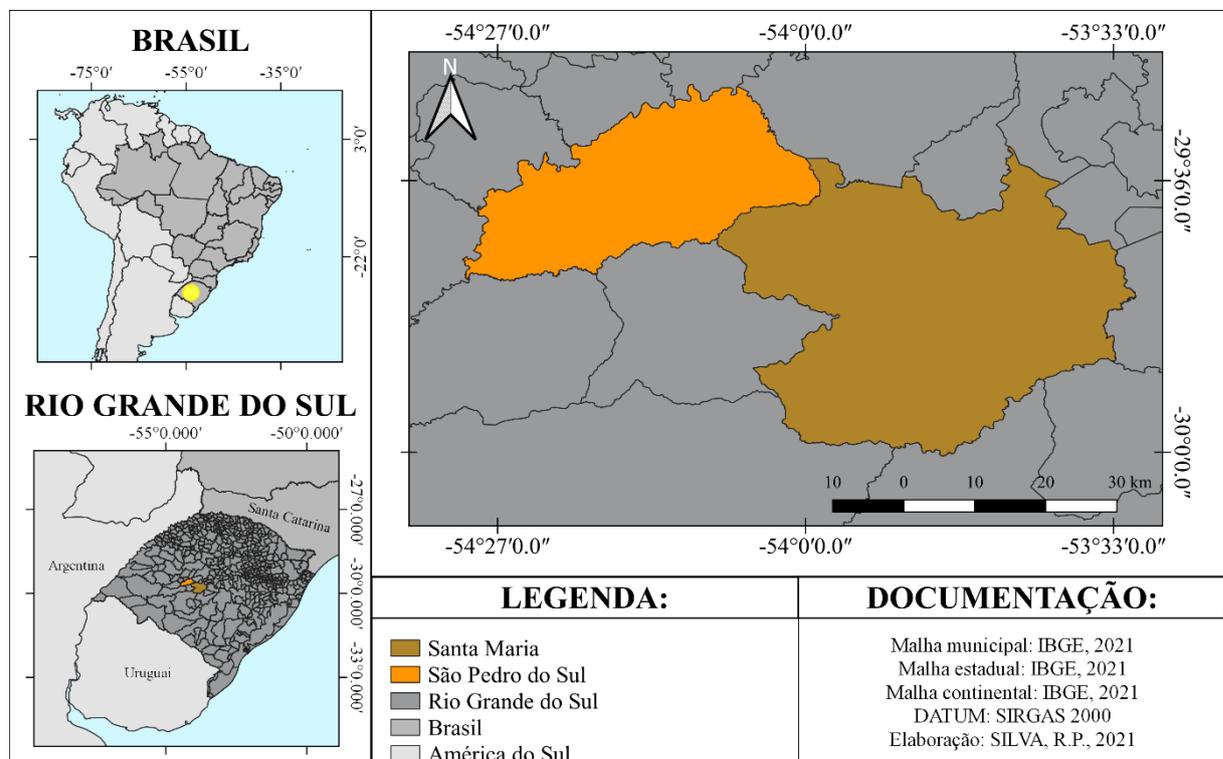
MATERIAL E MÉTODOS

LOCALIZAÇÃO

O experimento foi conduzido nos municípios de São Pedro do Sul e Santa Maria, (RS), região central do Rio Grande do Sul, sul do Brasil (Figura 1).

Figura 1 – Localização dos Municípios de São Pedro do Sul e Santa Maria no Rio Grande do Sul e no Brasil.

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DE ESTUDO

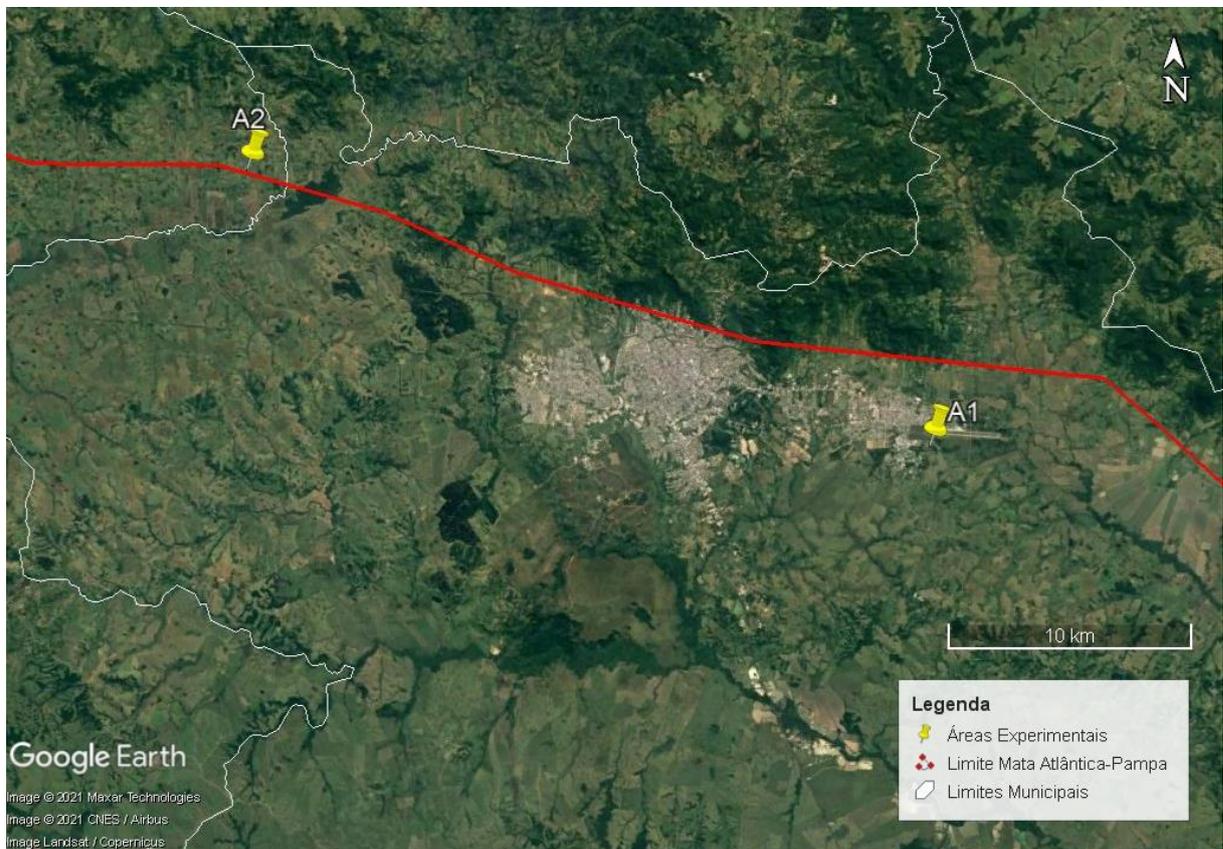


Conforme a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Cfa - subtropical úmido com verões quentes, sem estação seca definida (ALVARES, 2013).

Os municípios de Santa Maria e São Pedro do Sul são adjacentes, e estão inseridos na região da Depressão Central, situada entre o Planalto e a Serra do Sudeste. A região pode ser descrita por amplas planícies aluviais e coxilhas sedimentares com declividade suave ondulada a ondulada (REINERT, 2007).

O local do estudo situa-se na transição ecotonal entre os biomas Mata Atlântica e Pampa (Figura 2), com predominância de campos entremeados por florestas, estando estas principalmente nas beiras de rio, encostas e nascentes. As grandes várzeas dos rios Ibicuí-Mirim e Jacuí e seus afluentes, que originalmente abrigavam os maiores fragmentos florestais dentro das unidades de paisagem campestres, estão em sua grande maioria destinadas à rizicultura. Devido a esses fatores, a resiliência ecológica da paisagem da Depressão Central apresenta de baixo a médio potencial de regeneração natural, conforme Rovedder et al. (2017).

Figura 2 – Foto de satélite da região de transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica, sede do experimento de semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica.



Fonte: Google Earth. Elaboração: Autor.

Em verde mais escuro nota-se as formações florestais na paisagem, coincidentes, em sua maior proporção, com as encostas de transição entre o Planalto e a Depressão Central. Os tons em verde e amarelo mais claros se constituem em áreas agrícolas e pastagens, e em cinza a malha urbana de Santa Maria.

CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

Área experimental 1 (A1)

A área experimental de Santa Maria está localizada na Universidade Federal de Santa Maria, na área do Departamento de Solos conhecida como “Sistema Agroflorestal da Madame”. A resiliência ecológica do local é baixa (Tabela 1), com um solo praticamente sem horizonte orgânico, e também devido à invasão biológica de diversas espécies florestais e herbáceas (GAZZOLA, dados não publicados). O solo, classificado como Argissolo Vermelho, demonstra baixa formação de agregados. Durante cerca de 30 anos, a área foi sistematicamente revolvida para experimentos de cultivo convencional de soja. Possui uma declividade de 6%. A área recebeu a semeadura no dia 20 de outubro de 2019.

Área experimental 2 (A2)

Em São Pedro do Sul, a área usada para o experimento é de propriedade privada, e há 22 anos vinha sendo usada exclusivamente no pastoreio extensivo de gado. A resiliência ecológica do local é relativamente alta, pela rara presença de espécies invasoras (poucos indivíduos de capim-annoni – *Eragrostis plana* Nees), pela dinâmica sucessional expressiva de espécies nativas em áreas de pousio sem o pastoreio, e devido à conservação da camada orgânica superficial do solo. A classe de solo é do tipo Argissolo Vermelho, e a declividade do terreno é de 2%. A área recebeu a semeadura no dia 8 de outubro de 2019. A distância entre as duas áreas experimentais é de 30 quilômetros. As áreas possuem pedologias semelhantes, cujos solos se caracterizam por serem arenosos, de baixa fertilidade (Tabela 1). Os principais contrastes de resiliência ecológica entre as áreas são expostos na Figura 3.

Tabela 1 – Aspectos químicos da camada de 0-10 cm dos solos de A1 e A2 em semeadura direta de espécies florestais.

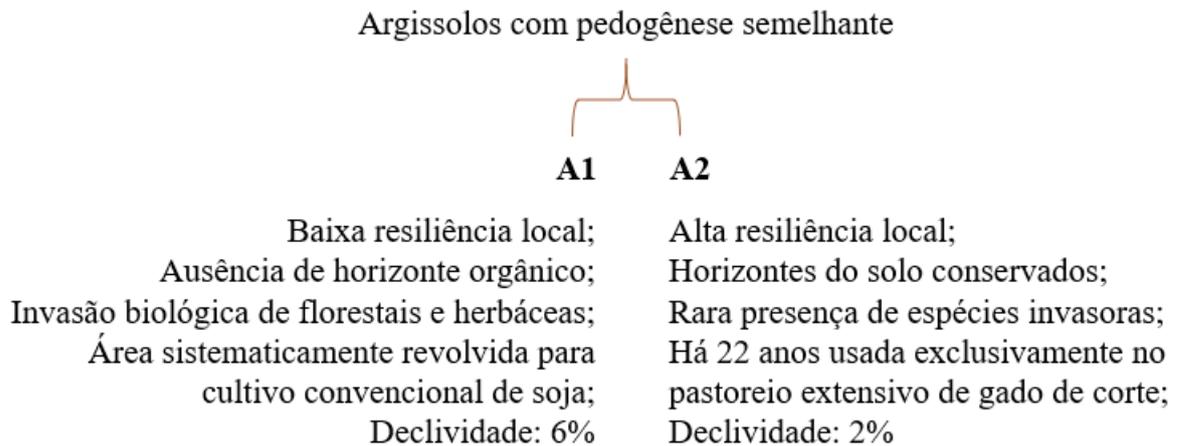
Aspectos	A1	A2
pH água 1:1	4,9	4,7
Ca (cmol _c dm ³)	1,7	2,1
Mg (cmol _c dm ³)	0,6	1,0
Al (cmol _c dm ³)	0,6	0,6
Saturação (%) Al	19,4	14,6
Saturação (%) Bases	26,8	28,9
Matéria Orgânica (%)	2,0	2,7
Argila (%)	16,0	16,0
Interpretações*	A1	A2
Classe de Argila	4	4
Classe de Matéria Orgânica	Baixo	Médio
Classe de disponibilidade Ca	Baixo	Médio
Classe de disponibilidade Mg	Médio	Médio

Fonte: Autor.

Laudos de Análise de Solo emitidos pelo Laboratório de Análise de Solos da UFSM.

*Interpretações de acordo com o Manual de Calagem e Adubação RS/SC (2016).

Figura 3 – Diagrama com os principais fatores contrastantes do uso dos solos das áreas experimentais A1 e A2.



Fonte: Autor.

PREPARO DO SOLO

Inicialmente o solo recebeu aração, de 20 a 25cm de profundidade, em área total; na sequência toda a área recebeu grade agrícola para desfazer os grandes agregados e nivelar a superfície. Não foi utilizado nenhum tipo de herbicida pré ou pós-emergente, e não houve correção de acidez do solo.

ESPÉCIES FLORESTAIS

Foram semeadas 16 espécies florestais, pertencentes a 10 famílias botânicas. Os critérios iniciais de seleção foram (a) espécies florestais com ocorrência natural para a região; (b) espécies de diferentes nichos ecológicos; e (c) espécies disponíveis nos viveiros da região. As sementes florestais são provenientes do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA) de Santa Maria, antiga Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), e nenhuma espécie recebeu tratamento para quebra de dormência (Figura 4). As espécies florestais, apresentadas na Tabela 2 com os resultados dos testes de germinação em laboratório executados pela DDPA, foram semeadas a uma profundidade de 3,5 a 4 cm da superfície do solo.

Figura 4 – Sementes florestais utilizadas no experimento de semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.



Bandeja utilizada na semeadura do experimento, contendo todas as espécies. Fonte: Autor.

Tabela 2 – Espécies florestais testadas em semeadura direta na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.

Família botânica	Espécies (nome científico e popular)	Data de coleta	Procedência	GL
	<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl. (aroeira-branca)	29/03/2019	DDPA SM	13%
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi (aroeira-vermelha)	11/07/2018	DDPA SM	18%
	<i>Schinus molle</i> L. (aroeira-salsa)	29/03/2019	DDPA SM	-
Annonaceae	<i>Annona sylvatica</i> A.St.-Hil. (araticum)	29/03/2019	Boca do Monte	-
Boraginaceae	<i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling & J.S.Mill. (guajuvira)	29/03/2019	Boca do Monte	77%
	<i>Bauhinia forficata</i> Link. (pata-de-vaca)	27/05/2019	DDPA SM	7%
Fabaceae	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong (timbaúva)	30/12/2017	Boca do Monte	70%
	<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze (maricá)	28/08/2018	DDPA SM	86%
	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan (angico-vermelho)	11/07/2018	DDPA SM	85%
Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i> L. (pitanga)	14/01/2019	Boca do Monte	84%
	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine (araçá)	14/02/2019	DDPA SM	60%
Primulaceae	<i>Myrsine umbellata</i> Mart. (capororocão)	11/07/2018	Palma	-
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam. (mamica-de-cadela)	01/04/2019	DDPA SM	-
Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i> Sw. (chá-de-bugre)	14/01/2019	DDPA SM	-
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl. (chal-chal)	14/01/2019	DDPA SM	97%
Symplocaceae	<i>Symplocos uniflora</i> (Pohl) Benth. (sete-sangrias)	29/03/2019	DDPA SM	10%

Fonte: DDPA SM

Legenda: GL = taxa de germinação em laboratório logo após a coleta do lote.

ESPÉCIE DE COBERTURA

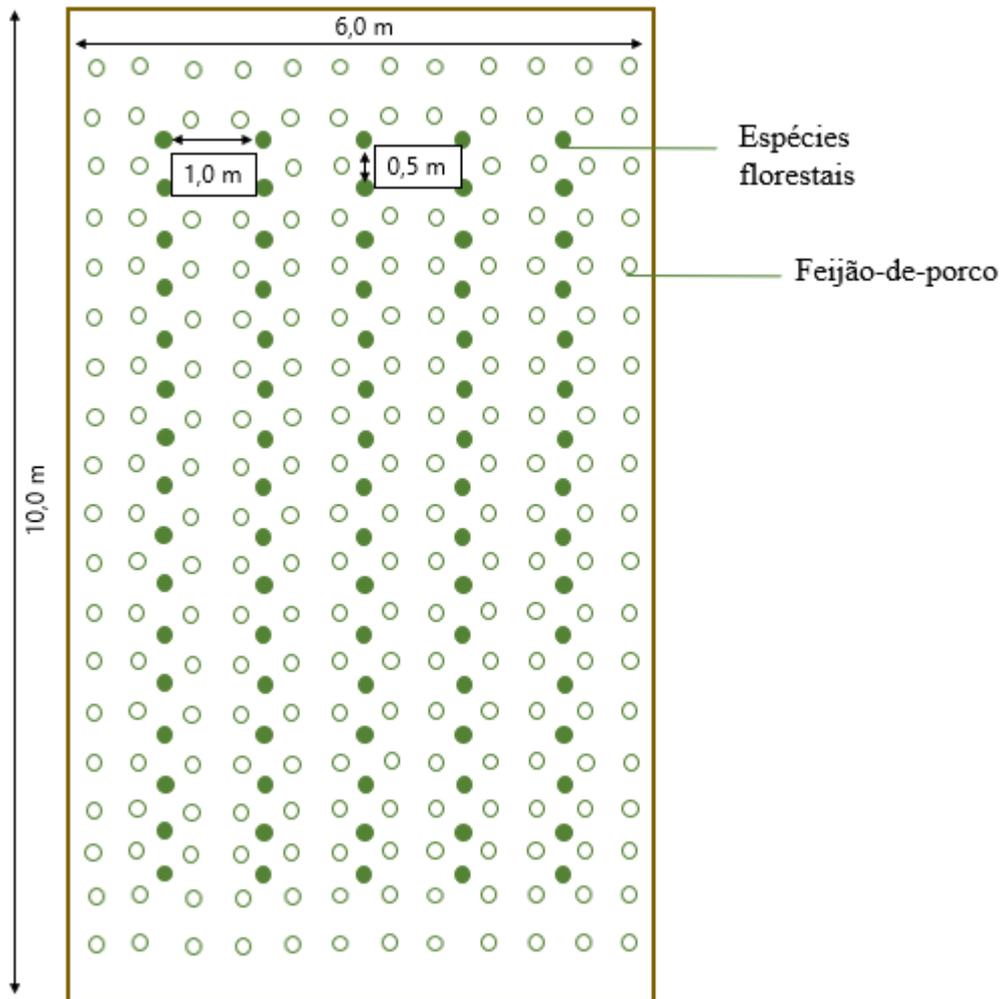
Os tratamentos de entrelinhas foram constituídos pelo pousio (tratamento controle) e pelo plantio de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* DC). Optou-se por testar o feijão-de-porco como cobertura em decorrência da performance da espécie em experiências agrícolas anteriores do autor na região. Em nenhum dos tratamentos o solo recebeu capinas posteriores ao preparo, permitindo o rebrote e desenvolvimento das espécies espontâneas; no tratamento com feijão-de-porco, foram necessárias 1.920 sementes, dispostas em densidade de 4 sementes por metro quadrado, uma por cova. As sementes foram provenientes da empresa BR Seeds.

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental é trifatorial (2 áreas x 16 espécies x 2 tratamentos na entrelinha), com 4 blocos casualizados. Cada bloco foi composto por uma parcela com feijão-de-porco na entrelinha e outra com entrelinha em pousio. Cada parcela teve 5 linhas contendo as 16 espécies florestais em ordem aleatorizada pelo programa estatístico R. O mesmo programa foi utilizado para sortear a disposição das parcelas com e sem feijão-de-porco em cada bloco.

Foram dispostos 640 berços em cada uma das áreas. Devido à escassez de sementes florestais de qualidade na região, foram usadas 5 sementes de cada espécie por berço, o que totalizou 6.400 sementes florestais regionais em um arranjo de semeadura direta em berços alinhados. Cada espécie teve 200 sementes no experimento, 100 sementes em cada tratamento de cobertura. O desenho experimental é apresentado a seguir, na Figura 5. A densidade de semeadura de espécies florestais foi de 10 sementes florestais por metro quadrado, distribuídas em berços com 5 sementes cada. Logo, cada metro quadrado sediou a possibilidade de 2 espécies diferentes prosperarem.

Figura 5 – Desenho experimental da semeadura direta de espécies florestais desenvolvida na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.

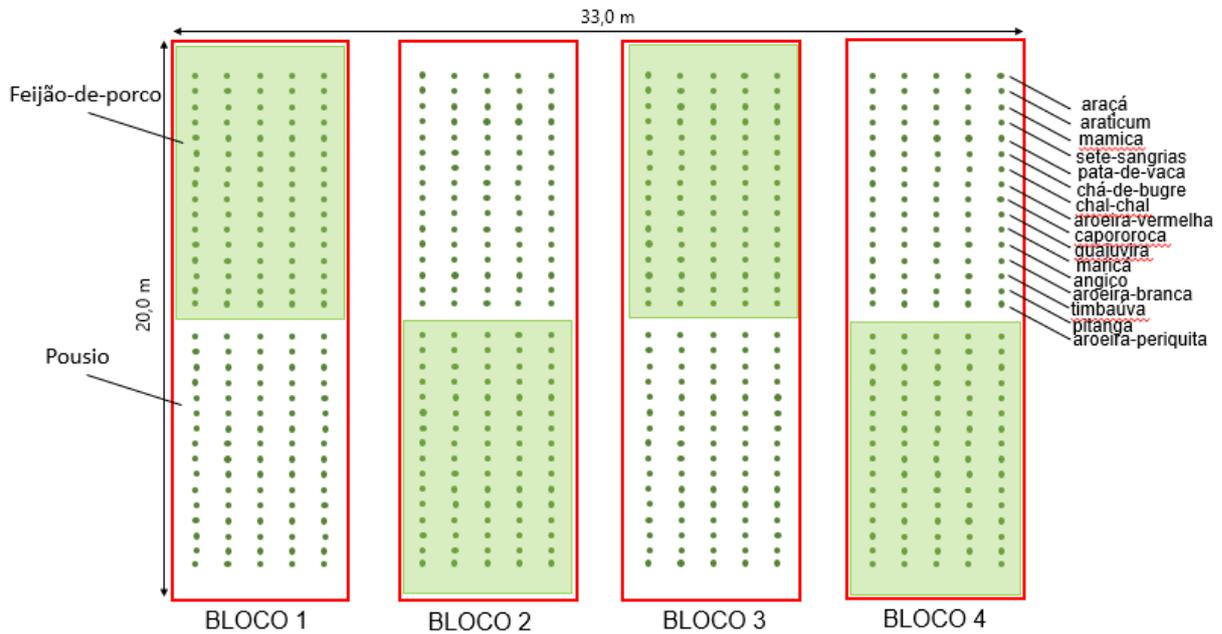


Fonte: Autor.

Representação gráfica de uma parcela, sem escala.

A área utilizada em cada uma das áreas experimentais foi de 660 metros quadrados, preparada com aração e gradagem. O resultado final do croqui de implantação é demonstrado na Figura 6, a seguir.

Figura 6 – Croqui geral de implantação do experimento de semeadura direta de espécies florestais desenvolvido na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.



Fonte: Autor.

MENSURAÇÕES

A avaliação do desenvolvimento inicial das espécies florestais se deu nos períodos de 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330 e 360 dias após a semeadura (DAS), nos meses descritos na Tabela 3, com observância ao número de plântulas vivas em cada berço, número de folhas emitidas por cada plântula e altura das plântulas. Em cada avaliação, foram realizados registros fotográficos da cobertura do solo nas parcelas, a fim de registrar o fechamento da cobertura ao longo dos meses.

A coleta de dados meteorológicos foi possível pelo Portal BDMEP, onde se acessou os dados da estação meteorológica mais próxima das áreas experimentais. A estação escolhida foi a Estação Meteorológica Convencional de número 83936, sediada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria. Acessou-se os dados de insolação diária, precipitação diária, temperaturas mínimas e máximas diárias, umidade relativa do ar e velocidade média do vento. Buscou-se, com esses dados, subsídios meteorológicos para o entendimento dos fatores influentes nos processos de germinação e desenvolvimento das plântulas.

Tabela 3 – Meses correspondentes das avaliações de 0 a 360 DAS da semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.

DAS	0	30	60	90	120	150	180
Mês/Ano	OUT 2019	NOV 2019	DEZ 2019	JAN 2020	FEV 2020	MAR 2020	ABR 2020
DAS	210	240	270	300	330	360	
Mês/ Ano	MAI 2020	JUN 2020	JUL 2020	AGO 2020	SET 2020	OUT 2020	

Fonte: Autor.

CÁLCULO DAS TAXAS

A partir das observações diretas de número de plântulas vivas, altura das plântulas e número de folhas emitidas, procedeu-se cálculos para as taxas de emergência, mortalidade, sobrevivência e efetivação.

Taxa de Emergência da espécie (TE) [%]:

$$\frac{\text{Número de emergências da espécie em todo o experimento}}{\text{Número de sementes da espécie utilizadas}} \times 100$$

- Cada espécie teve 40 berços; 5 sementes por berço: 40 x 5 = 200 sementes.

Taxa de emergência da área experimental [%]:

$$\frac{\text{Número total de emergências na área}}{\text{Número total de sementes florestais utilizadas na área}} \times 100$$

- 200 sementes por espécie; 16 espécies florestais: 200 x 16 = 3200 sementes.

Taxa de Mortalidade da espécie (TM) [%]:

$$\frac{\text{Número de mortes de plântulas emergidas da espécie}}{\text{Número total de emergências da espécie}} \times 100$$

Taxa de mortalidade da área experimental [%]:

$$\frac{\text{Número total de mortalidades de plântulas na área}}{\text{Número total de emergências da área}} \times 100$$

Taxa de Sobrevivência da espécie (TS) [%]:

$$\frac{\text{Número de plântulas estabelecidas da espécie aos 360 DAS}}{\text{Número total de emergências da espécie}} \times 100$$

Número de plântulas estabelecidas: (número de emergências) - (número de mortalidades)

Taxa de sobrevivência do experimento [%]:

$$\frac{\text{Número total de plântulas estabelecidas na área aos 360 DAS}}{\text{Número total de emergências da área}} \times 100$$

Taxa de Efetivação (TEf) da espécie [%]:

Tem a função de encerrar os dados mostrando a performance final, por meio da proporção de indivíduos efetivados. Enquanto a taxa de sobrevivência mostra quantas sementes germinadas sobreviveram, a taxa de efetivação mostra quantas sementes colocadas na terra se tornaram plântulas estabelecidas.

$$\frac{\text{Número de plântulas estabelecidas da espécie aos 360 DAS}}{\text{Número total de sementes da espécie utilizadas}} \times 100$$

- Cada espécie teve 40 berços; 5 sementes por berço: $40 \times 5 = 200$ sementes.

Taxa de efetivação da área experimental [%]:

$$\frac{\text{Número de plântulas estabelecidas da área experimental aos 360 DAS}}{\text{Número total de sementes florestais utilizadas na área}} \times 100$$

- 200 sementes por espécie; 16 espécies florestais: $200 \times 16 = 3.200$ sementes.

Densidade de sementeira do experimento [sementes/hectare]:

- 3.200 sementes usadas no experimento $\rightarrow 320 \text{ m}^2$: área de sementeira florestal
- X sementes $\rightarrow 10.000 \text{ m}^2$

$$X = \frac{3.200 \text{ sementes} * 10.000 \text{ m}^2}{320 \text{ m}^2}$$

ANÁLISE DOS DADOS

A análise de dados foi realizada no ambiente estatístico R (versão 4.0.3) utilizando o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados. Devido à não normalidade dos dados, utilizou-se os testes de Kruskal-Wallis e de Wilcoxon. Foi feita a comparação do efeito das coberturas sobre cada espécie responsiva à sementeira, da mesma forma que as espécies foram classificadas de acordo com seu desempenho em cada tipo de cobertura.

A frequência mensal de mensurações proporcionou uma Série de Crescimento para cada espécie, auxiliando nas inferências acerca dos fatores meteorológicos que regem o grau de desenvolvimento de cada uma.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

DESEMPENHO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

De um total de 3200 sementes, apenas uma germinou em A1. Em A2, da mesma quantidade e qualidade de sementes, germinaram 93, o que corresponde a uma taxa de emergência de 2,91% para a área. A Taxa de Efetivação, que considera a razão entre as plântulas vivas e o total de sementes utilizadas, é de 2,4%.

Esse resultado na A1 comprova a hipótese (i), que testa o histórico de uso do solo como influente na performance da SD. Mesmo sem ter gerado resultados para os parâmetros de altura e número de folhas, a não emergência de 99,97% das sementes é um resultado digno de atenção. Na A1, a notável desestruturação física do solo somada a um evento de chuvas intensas logo na primeira semana após a semeadura, no dia 20 de outubro de 2019, pode ter criado condições desfavoráveis à germinação. Verificou-se forte erosão superficial no solo após os eventos de chuva, incluindo o carreamento de sementes do experimento, mesmo estas estando a 4 centímetros de profundidade, em média.

Com o resultado nulo em A1, nos próximos itens do presente artigo, os resultados e a discussão referem-se à A2.

DESEMPENHO GERAL

O fator Espécies foi considerado significativo para as três variáveis analisadas, com p-valores entre os grupos menores que 0.05. A baixa diferenciação estatística das variáveis analisadas com o fator Cobertura (Tabela 4) se explica pela diversidade acentuada de respostas à semeadura direta entre as espécies, o que dilui o efeito dos tratamentos de cobertura no âmbito geral dos dados.

Tabela 4 - Análise comparativa pelo teste de Kruskal-Wallis para número de plântulas vivas aos 360 DAS, altura (cm) e número de folhas entre os fatores de Cobertura e de Espécies florestais ($p < 0.05$), em semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.

Variáveis	Coberturas	Espécies
Número de efetivações	0.1898	0.000217
Altura das plântulas	0.1861	0.0001758
Número de folhas emitidas	0.1875	0.0002149

Fonte: Autor. Legenda: Grifo: destaque do autor.

Devido à alta variabilidade entre as espécies, na próxima seção os resultados são apresentados com base nas análises de comparação de pares pelo Teste de Wilcoxon, onde cada espécie tem seu par de dados comparado – no feijão-de-porco e no pousio.

DESEMPENHO DAS ESPÉCIES FLORESTAIS

Das 16 espécies florestais semeadas, de 10 famílias botânicas, apenas 7 espécies de 4 famílias apresentaram emergência; uma delas não sobreviveu até o final do período de avaliações. Os resultados das espécies responsivas são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Respostas por espécie e cobertura após 360 dias da semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.

Família botânica	Espécies	TE		TM		TS		Altura média		Qtde folhas		TEf	
		(%)		(%)		(%)		(cm)				(%)	
		P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolia</i>	3	0	100	-	0	-	-	-	-	-	-	-
Annonaceae	<i>Annona sylvatica</i>	10	17	40	6	60	94	8.60	8.60	3.3	5.4	6	16
	<i>Bauhinia forficata</i>	2	0	0.0	-	100	-	19.25	-	21	-	2	0
	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	5	14	40	29	60	71	15.67	39.38	10.7	12.6	3	10
Fabaceae	<i>Mimosa bimucronata</i>	12	11	8	18	92	82	45.20	48.50	61.1	63.9	11	9
	<i>Parapiptadenia rigida</i>	10	3	40	0	60	100	17.00	15.00	11	9	6	3
Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i>	6	6	17	17	83	83	4.80	6.80	6.4	9.8	5	5
	MÉDIAS	2.8	3.2	24	14	76	86	18.42	23.66	18.92	20.14	2.1	2.7

Em que: TE = Taxa de Emergência; P = resultados do pousio; F = resultados no feijão-de-porco; TM = Taxa de Mortalidade; TS = Taxa de Sobrevivência; TEf = Taxa de Efetivação. Elaboração: Autor.

Desempenho das espécies não responsivas à semeadura direta

Das 16 espécies testadas, 9 não apresentaram emergência, resultado que pode ser investigado a partir de uma série de fatores de natureza endógena e fisiológica das sementes, somadas a fatores operacionais como a profundidade e a época de semeadura.

Para *Lithraea molleoides* e *Symplocos uniflora* o fator mais explicativo pode ser a baixa germinação já nos testes de laboratório (13% e 10%, respectivamente). A campo, com as condições de germinação drasticamente menos favoráveis, é plausível a não emergência destas espécies. *Schinus molle*, apesar de não contar com teste de germinação prévio em laboratório, compartilha com *L. molleoides* e *Schinus terebinthifolia* a mesma morfologia de semente e fruto que lhes conferem dormência tegumentar das sementes. Possuem em volta da semente um pericarpo cujo rompimento e retirada são essenciais para a germinação das sementes, juntamente com a superação da dormência (PEREIRA, 2021).

Na semeadura do presente experimento não foi destinada nenhuma atenção especial para qualquer espécie, com a prerrogativa de testar a germinação das sementes sem qualquer agregação de valor na forma de tempo de trabalho na superação de dormências. A falta da quebra de dormência é uma explicação importante para a não emergência – ou emergência pouco abundante, no caso de *S. terebinthifolia* – destas anacardiáceas.

Para as espécies com taxas de germinação em laboratório mais otimistas e que não emergiram, caso de *Allophylus edulis*, *Cordia americana* e *Psidium cattleianum*, com 97%, 77% e 60%, respectivamente, surge a hipótese de que não houve manutenção da viabilidade ao longo do tempo de armazenamento nas câmaras frias, de cerca de 8 meses. A manutenção da viabilidade de sementes recalcitrantes, como no caso de *A. edulis*, *Casearia sylvestris* e *Symplocos uniflora* é certamente um dos maiores desafios das casas de semente, o que causa uma restrição à presença de espécies com esse tipo de semente em projetos de restauração ecológica por semeadura direta (KETTLE, 2012; RODRIGUES, 2019). Mesmo que dependam de condições mais exigentes de umidade no solo, é uma estratégia das espécies recalcitrantes a rápida emergência e recobrimento do solo, o que é estratégico para a semeadura direta e merece atenção dos pesquisadores da restauração.

A profundidade de semeadura praticada no experimento, de aproximadamente quatro centímetros, principalmente para as espécies com sementes pequenas (Tabela 6), como *Cordia americana*, *Psidium cattleianum*, *Casearia sylvestris*, *Zanthoxylum rhoifolium*, *Myrsine umbellata* e *Schinus molle*, pra além dos fatores endógenos das sementes, pode ter sido maior

que o ideal. Além disso, outro fator a ser examinado a posteriori é a época de semeadura. A prática adotada foi fazer a semeadura na primavera (de setembro a novembro no hemisfério Sul), por parecer o mais adequado para espécies com ocorrência natural em área de clima temperado – portanto com estações bem definidas – e com chuvas bem distribuídas ao longo do ano. Apesar disso, não existem estudos que testem a emergência da SD de espécies florestais em outras épocas do ano, utilizando o frio como mecanismo de quebra de dormência, por exemplo.

Tabela 6 - Características morfológicas e ecológicas das sementes de espécies florestais em semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.

Espécies	PMS [g]	TM [mm]	Dormência	GL	GS
<i>Annona sylvatica</i>	481.500	12.5	D. Tegumentar	-	SI
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	225.000	12.5	D. Tegumentar	70%	SI
<i>Eugenia uniflora</i>	183.250	7.5	Recalcitrante	84%	SI
<i>Symplocos uniflora</i>	172.820	7	Recalcitrante	10%	SI-T
<i>Bauhinia forficata</i>	113.690	10	Ort. s/ dormência	7%	PIO-SI
<i>Allophylus edulis</i>	45.000	8.5	Recalcitrante	97%	PIO-SI
<i>Lithraea molleoides</i>	43.550	4	D. Tegumentar	13%	PIO
<i>Parapiptadenia rigida</i>	25.159	11	Ort. s/ dormência	85%	PIO
<i>Schinus terebinthifolia</i>	23.350	4	D. Tegumentar	18%	PIO
<i>Schinus molle</i>	22.710	4	D. Tegumentar	-	PIO
<i>Myrsine umbellata</i>	20.200	3.5	Ort. s/ dormência	-	SI-T
<i>Cordia americana</i>	18.680	4	Ort. s/ dormência	77%	SI
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	14.000	3	Ort. s/ dormência	-	PIO-SI
<i>Psidium cattleianum</i>	13.589	3.5	Ort. s/ dormência	60%	SI
<i>Mimosa bimucronata</i>	12.000	4.5	D. Tegumentar	86%	PIO
<i>Casearia sylvestris</i>	0.605	1	Recalcitrante	-	SI-T

Em que: Espécies em negrito: Espécies com plântulas vivas ao final das avaliações; PMS = Peso de Mil Sementes; TM = Tamanho Médio; D. Tegumentar = Dormência Tegumentar; Ort. s/ Dormência = Ortodoxa sem Dormência; GL = Germinação em Laboratório; - = sem dados de germinação em laboratório; GS = Grupo Sucessional; PIO = Pioneira; SI = Secundária Inicial; SI-T = Secundária Inicial e Tardia.

Diversos trabalhos que utilizam a muvuca de sementes consorciadas espécies forrageiras com as sementes florestais, com a finalidade de abafamento das espécies gramíneas invasoras e geração de um microclima diferente da exposição direta ao sol e às chuvas (CAMPOS-FILHO et al., 2013; PELLIZZARO et al., 2017; FREITAS et al., 2019; RODRIGUES et al., 2019). Os mesmos autores são unânimes em destacar as gramíneas invasoras como um dos fatores mais

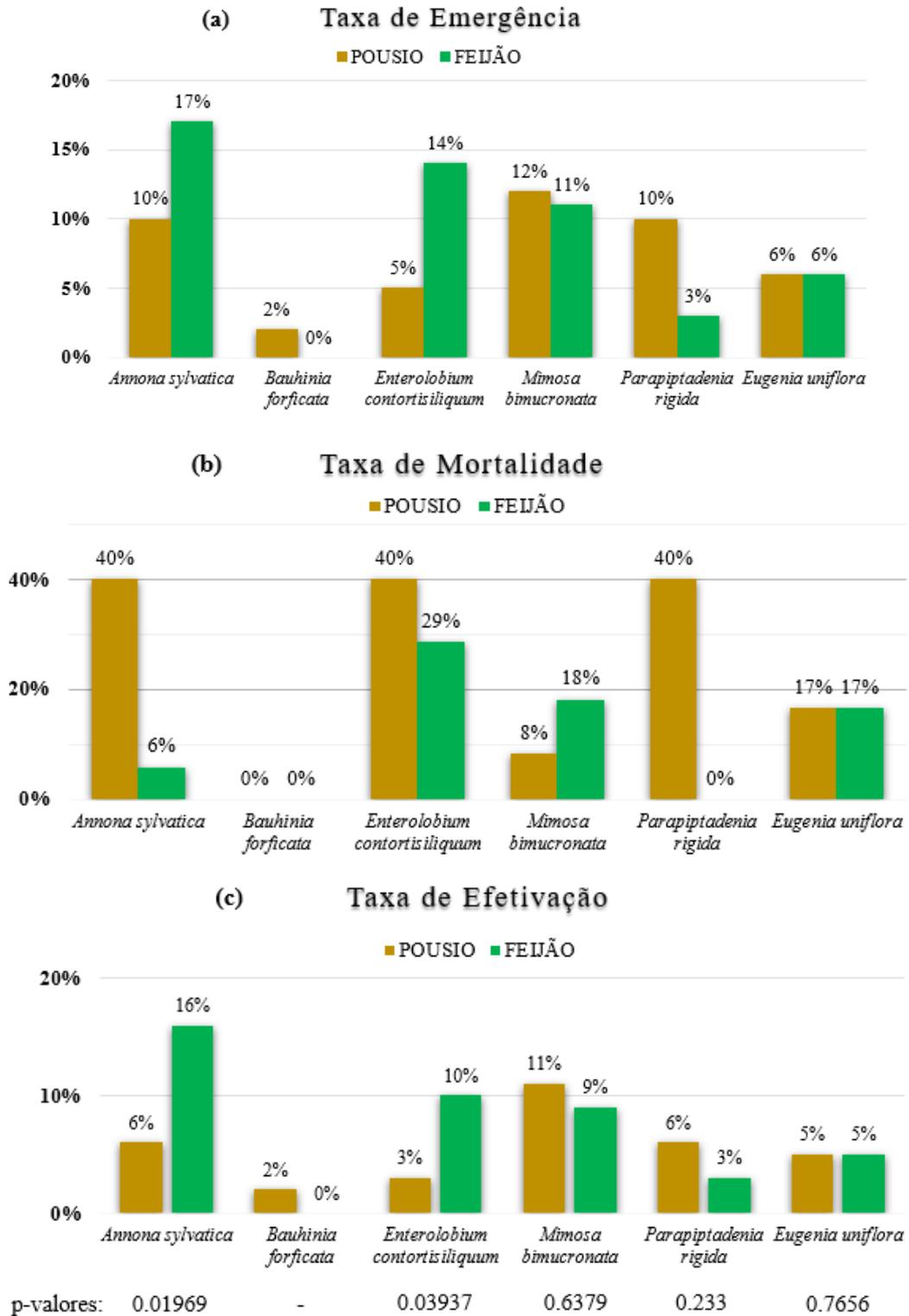
limitantes ao sucesso da sementeira direta. No caso desse estudo, a ocorrência de geadas insere a resistência ao frio na lista de requisitos para a cobertura verde da SD de espécies florestais.

Desempenho das espécies responsivas à sementeira direta

Aos 30 dias após a sementeira quatro espécies haviam apresentado emergência, são elas: timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*), pata-de-vaca (*Bauhinia forficata*), maricá (*Mimosa bimucronata*) e angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida*), as quatro espécies leguminosas do experimento. A família Fabaceae teve as mais rápidas emergências, e após um ano da sementeira todas as suas espécies representantes mantiveram indivíduos vivos. A massa das sementes parece ter importância na predição do sucesso, conforme observado em outros trabalhos com a sementeira direta (PASSARETTI et al., 2020). Das cinco espécies do experimento com PMS > 100 g, quatro delas tiveram sucesso. Embora alguns autores (ENGEL e PARROTA, 2001; CAMPOS-FILHO et al., 2013) considerem recomendáveis para a SD as espécies com taxa de emergência igual ou superior a 10%, a incipiência da técnica de nas condições regionais do presente trabalho torna precipitado qualquer tipo de descarte de possibilidades de espécies nativas, dado que as espécies que demonstraram resposta à SD superaram a ação de diversos fatores limitantes à sua performance, os quais apenas agora estão começando a ser investigados.

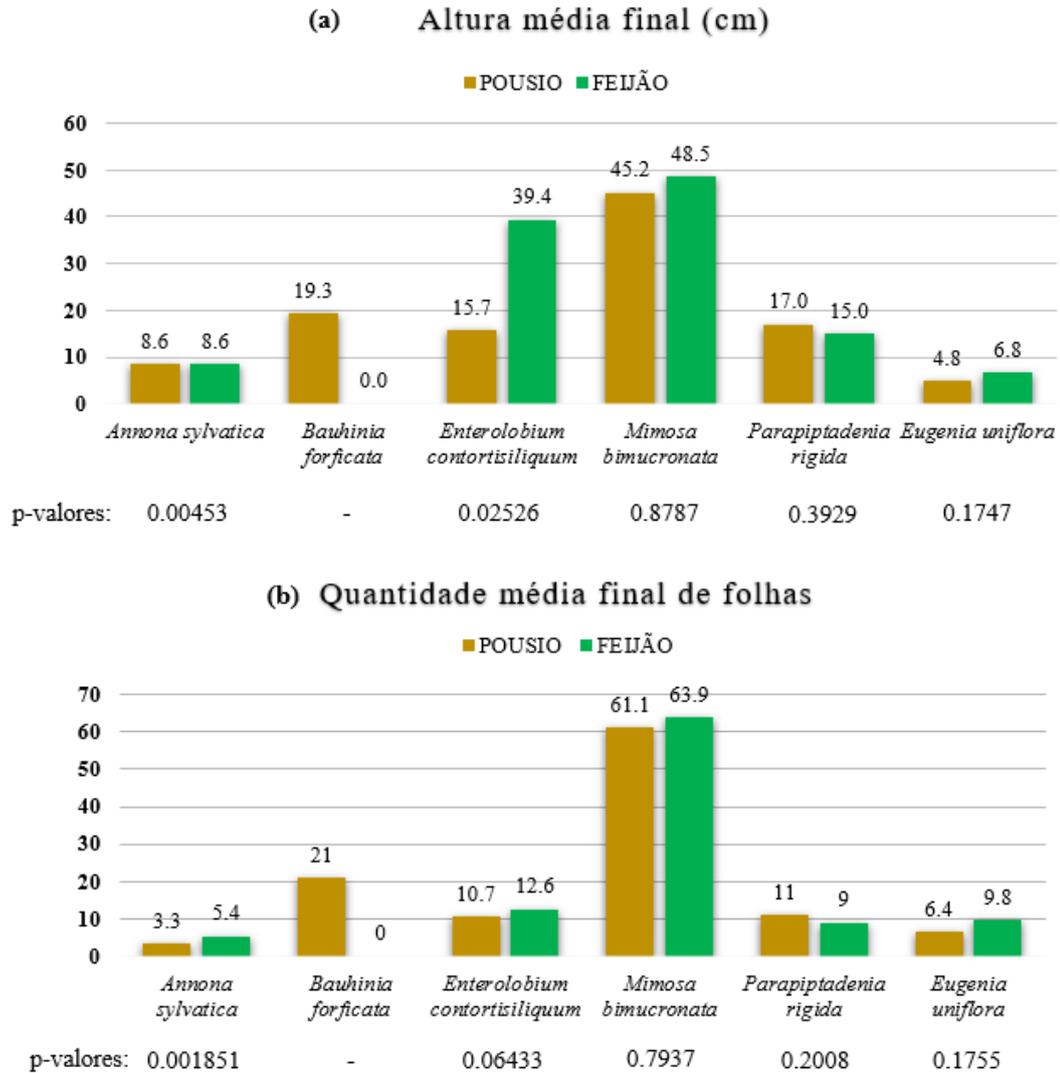
Nas Figuras 7 e 8, os p – valores presentes para espécies são decorrentes da análise dos resultados de cada espécie com e sem a cobertura de feijão-de-porco. Dessa forma, a variabilidade entre as diferentes espécies foi excluída da análise, para o melhor entendimento de cada caso em específico. A seguir são especificados os fatores que levaram cada uma das seis espécies florestais a obterem emergência e estabelecimento quando semeadas diretamente a campo, bem como as dinâmicas de crescimento.

Figura 7 – Taxas de Emergência (a), Mortalidade (b) e Efetivação (c), separadas por cobertura, para as espécies florestais responsivas à sementeira direta na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica, RS.



Fonte: Autor.

Figura 8 - Altura e quantidade média de folhas aos 360 dias após semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica, RS.



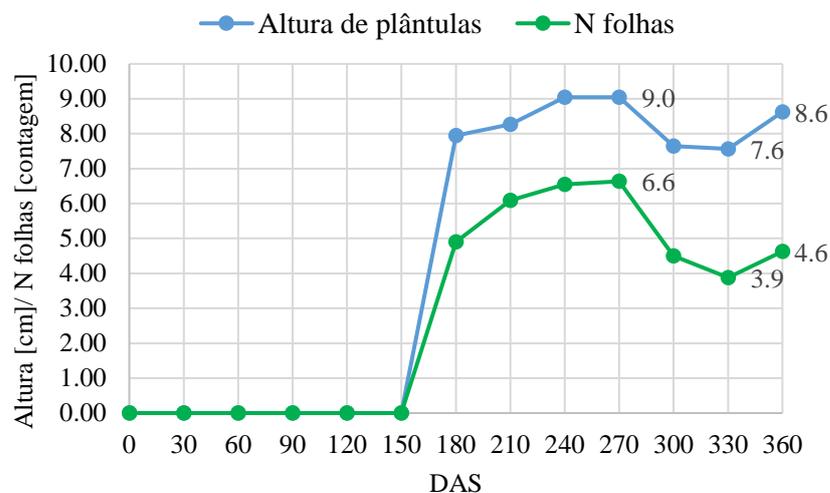
Fonte: Autor.

Araticum (Annona sylvatica)

O araticum-do-mato é uma espécie florestal, como o seu epíteto específico “*sylvatica*” (selvática) sugere. Se comporta com exigência em luz, e em ambiente florestal pode chegar a 15 metros de altura. Possui frutos apreciados por animais arborícolas e aves. A espécie ocorre na floresta atlântica, floresta com araucária, florestas da Depressão Central e das encostas da Serra do Sudeste (SOBRAL, 2013). Na zona de contato da Mata Atlântica com o Pampa, habita bordas de capões (RAMBO, 1956).

Grande massa de sementes tem sido relatada como um bom preditor de altas taxas de germinação e rápido crescimento inicial, ambos esperados na semeadura direta (PASSARETTI et al., 2020). O araticum, apesar de ser a espécie presente do experimento com as sementes de maior massa, com o milhar de sementes pesando cerca de 481.5 gramas, observa-se na Figura 9 que o araticum apresentou emergência apenas no sexto mês após a semeadura. Isso pode ser explicado pela dormência tegumentar da espécie, e corrobora com trabalhos da área da silvicultura que descrevem a emergência de *A. sylvatica* como de resposta lenta (OLIVEIRA, 2017). Sem tratamento para a quebra de dormência antes da semeadura, fica evidente que o intemperismo natural promovido pela oscilação térmica e pela umidade do solo foi o responsável por tornar o tegumento da semente cada vez mais permeável à troca de gases e água com o ambiente do solo. O araticum é a espécie com maior taxa de germinação média do experimento, atingindo 13,5%.

Figura 9 – Série de crescimento de *Annona sylvatica* em semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.



Fonte: Autor

O decréscimo em altura e número de folhas observado a partir dos 300 DAS se deve à ocorrência de geadas nos meses de julho e agosto na região, observadas também na área do experimento, e condizentes com as temperaturas mínimas apresentadas no APÊNDICE A. No araticum a geada provocou o congelamento da região terminal da parte aérea, com tecidos mais tenros e termicamente mais sensíveis (Figura 10).

O efeito das coberturas de entrelinha no desempenho da espécie foi evidente, uma vez que as taxas de emergência e de efetivação do araticum em meio ao feijão-de-porco foram de 17% e 16%, respectivamente, enquanto no pousio foram de 10% e 6%, respectivamente. Infere-

se que devido à proteção à geada fornecida pela cobertura do feijão-de-porco, o tratamento de pousio impactou em maior mortalidade ao araticum. Nas variáveis Altura e Número de Folhas os resultados foram estatisticamente distintos, favoráveis ao uso da cobertura.

Figura 10 – Plântulas de *A. sylvatica* em sementeira direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.



Fonte: Autor.

Legenda: (a) 210 DAS, plântulas com 1 mês de emergência; (b) 360 DAS, 6 meses após emergência; (c) 300 DAS, com tecido foliar comprometido e rebrotando após geada; (d) berço cheio de plântulas 360 DAS.

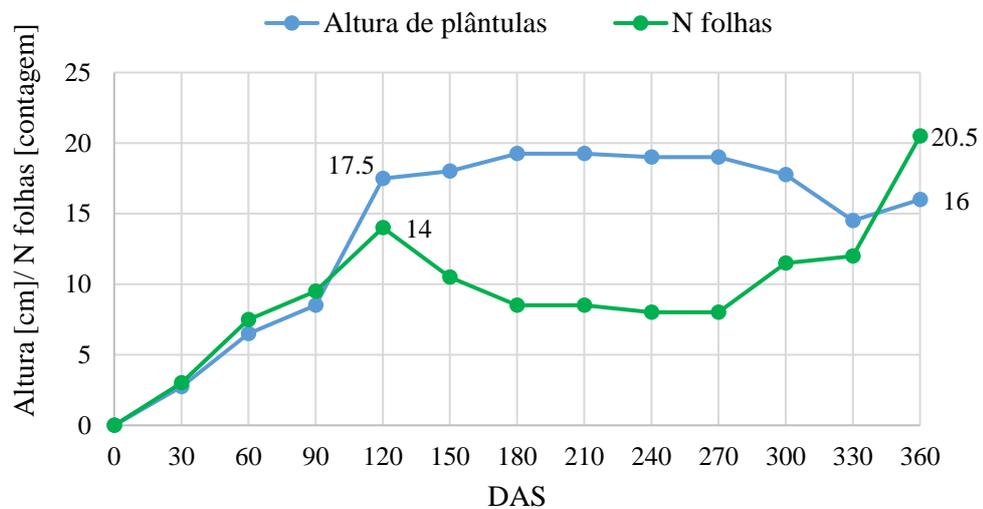
Pata-de-vaca (Bauhinia forficata)

A pata-de-vaca é uma arvoreta caducifólia da família Fabaceae com ocorrência natural na Mata Atlântica e no Pampa brasileiro, estando presente nas formações florestais de todo o Rio Grande do Sul (SOBRAL, 2013). De ecologia pioneira a secundária inicial, a pata-de-vaca é frequente nas bordas de florestas, beiras de estrada, clareiras e capoeirões e tem diversos usos medicinais.

No experimento, seu desempenho foi de 1% de germinação – apenas duas plântulas emergidas, no primeiro mês de avaliação, ambas em parcelas com entrelinhas de pousio. Apesar

de não haver significância estatística para afirmar, a partir da presente semeadura, que a espécie prefere sol pleno na fase jovem, é reconhecido na literatura da espécie sua preferência por nichos ecológicos com sol pleno (CARVALHO, 2003). Destaca-se o vigor da espécie e a alta responsividade a estresses hídricos e térmicos. Na Figura 11, aos 150 DAS a espécie apresentou perda das folhas basais e paralisação da altura, em resposta à falta de chuvas e às altas temperaturas dos meses de fevereiro e março de 2020 (APÊNDICES A e B). Aos 360 DAS, os únicos dois indivíduos continuaram vivos, apresentando rebrota intensa e já formando os conhecidos padrões de bifurcação e crescimento horizontal da espécie, sem dominância apical. A retomada do número de folhas ao final dos períodos de estiagem e geadas era esperada para a espécie (Figura 12), por sua fenomenologia caducifólia e pelo bom estabelecimento proporcionado por suas raízes profundas (CARVALHO, 2003).

Figura 11 - Série de crescimento de *Bauhinia forficata* em semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.



Fonte: Autor.

Figura 12 - Plântulas de *B. forficata* em semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.



Fonte: Autor

Legenda: (a): aos 30 DAS; (b): aos 90 DAS; (c): aos 300 DAS, com rebrotas apical após as geadas; (d): aos 360 DAS, na última avaliação.

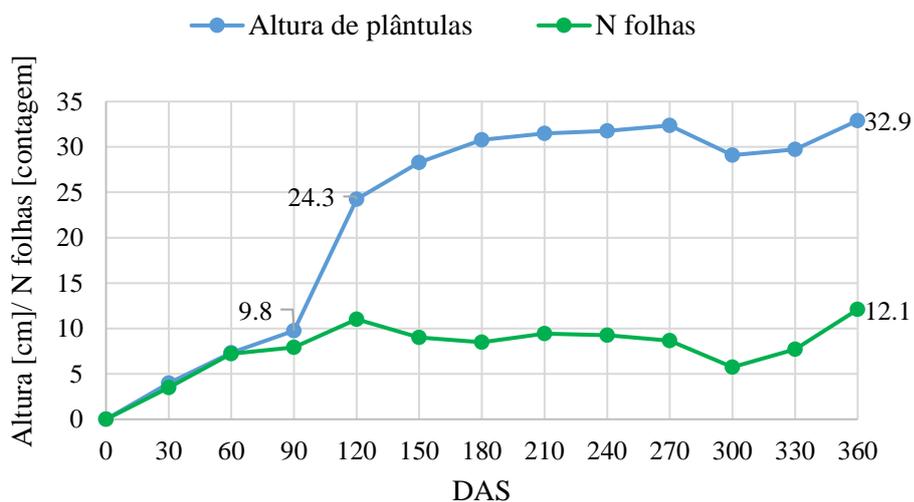
Timbaúva (Enterolobium contortisiliquum)

A timbaúva é uma espécie arbórea que ocorre do Ceará ao Rio Grande do Sul, presente em formações florestais ombrófilas e estacionais. Em ambientes florestais, pode ultrapassar os 20 metros de altura e 1 metro de diâmetro à altura do peito; sua ocorrência em ambientes abertos (campestres ou savânicos) é representada por indivíduos de menores alturas e com ramificação no tronco a partir de poucos metros do solo. É espécie muito presente no ecótono Pampa – Mata Atlântica, tendo grande plasticidade ecológica. Alguns autores classificam a espécie como pioneira a secundária inicial, e outros como secundária tardia a clímax (LOPES, 2012).

A espécie apresentou emergência no primeiro mês após a semeadura (Figura 13), se destacando pelo ganho em altura após emitir os primórdios foliares, o que provavelmente se

deve às reservas de energia no interior da semente, a segunda maior do experimento (PMS = 225g). A dormência tegumentar de suas sementes é superada, na natureza, pelo intemperismo sobre o tegumento ou pelo trato digestivo de animais. A quebra de dormência para as sementes de timbaúva consiste na escarificação mecânica das sementes (ALEXANDRE, 2009), e nos testes de laboratório feitos pela DDPA a espécie atingiu 70% de germinação. Sem a quebra de dormência e nas condições da sementeira direta, a taxa de germinação média da espécie foi de 9,5%. Apesar disso, o desenvolvimento foi satisfatório, com sobrevivência de 76,5% das plântulas.

Figura 13 - Série de crescimento de *Enterolobium contortisiliquum* em sementeira direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.



Fonte: Autor.

A taxa de emergência da timbaúva na cobertura de feijão-de-porco foi de 14 indivíduos, ao passo que apenas 5 emergências ocorreram no pousio; a mortalidade foi maior no pousio, sendo explicada pela maior vulnerabilidade às secas e geadas na cobertura mais baixa proporcionada pelo pousio, em que se destaca a altura de rebrota após as geadas mais distante do meristema apical do que a altura de rebrota no feijão-de-porco (Figura 14). A efetivação da espécie foi de 10% no FP, e de 3% no PS.

O salto em altura da espécie dos 90 para os 120 DAS pode ser entendido como uma retomada de crescimento após leve queda do ritmo em decorrência da baixa precipitação no mês de dezembro de 2019 (APÊNDICE B). Com a retomada das chuvas em janeiro de 2020, a

média de altura da espécie dobrou no intervalo de um mês. A queda de altura aos 300 DAS se deve à perda dos brotos apicais em decorrência das geadas do inverno (APÊNDICE A). Passado um ano da semeadura, a média de altura das plântulas de timbaúva no FP representava o triplo da altura da espécie no PS. A quantidade de folhas não apresentou variação significativa.

Figura 14 - Plântulas de *B. forficata* em semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.



Fonte: Autor.

Legenda: (a): 30 DAS; (b): plântula aos 150 DAS, em estresse hídrico; (c) e (d): rebrota aos 300 DAS, após geada, no FP e PS, respectivamente; (e): indivíduo com 72 cm de altura ao final das avaliações, e vagem de feijão-de-porco no canto esquerdo.

Maricá (Mimosa bimucronata (DC.) Kuntze)

O maricá, também conhecido pelos nomes de espinheira, silva, unha-de-gato e espinho-roxo, é um arbusto arborescente da família Fabaceae, de caule tortuoso e muito ramificado, atingindo de 3 a 10 metros de altura. Se distribui por vários estados do Brasil, ocorrendo em todos os biomas, exceto a Amazônia. Habita diversas formações vegetais, como campos de várzea, florestas ciliares, restingas, florestas ombrófilas, florestas estacionais e até mesmo áreas antrópicas (DUTRA, 2020). A espécie ocorre também no nordeste da Argentina, no leste do Paraguai e no extremo noroeste do Uruguai (CARVALHO, 2004).

Possui flores melíferas, com intensa floração de janeiro a março no Rio Grande do Sul. É espécie pioneira típica, apresentando rápido estabelecimento e reprodução em solos úmidos e mal drenados, pedregosos ou com afloramentos rochosos, e com grande capacidade competitiva com outras espécies vegetais, frequentemente formando densos maricazais (CARPENEZZI, 1990). Jacobi e Ferreira (1991) constataram efeito alelopático do maricá sobre espécies alimentares cultivadas, como o alface, o arroz e o tomate, o que abre precedentes para estudos de interação do maricá com outras espécies arbustivo-arbóreas nativas da região.

Chamou a atenção no experimento a alta tolerância do maricá a geadas (Figura 15). A espécie não apresentou danos nos tecidos devido às geadas, e inclusive apresentou crescimento em altura e aumento da quantidade de folhas nos meses de frio intenso na região (Gráfico 4). Isso só aconteceu com outra espécie no experimento: a pitanga, sabidamente com alta adaptação ao frio e ao clima temperado. Apesar da ampla distribuição do maricá em toda a América do Sul, a progênie de maricá coletada pela DDPA já possui, provavelmente, boa adaptação a geadas. Segundo Carvalho (2004), as variedades de maricá originárias do planalto brasileiro e de outras regiões do interior do continente são mais tolerantes ao frio que genéticas do litoral.

Figura 15 - Plântulas de *M. bimucronata* em semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.



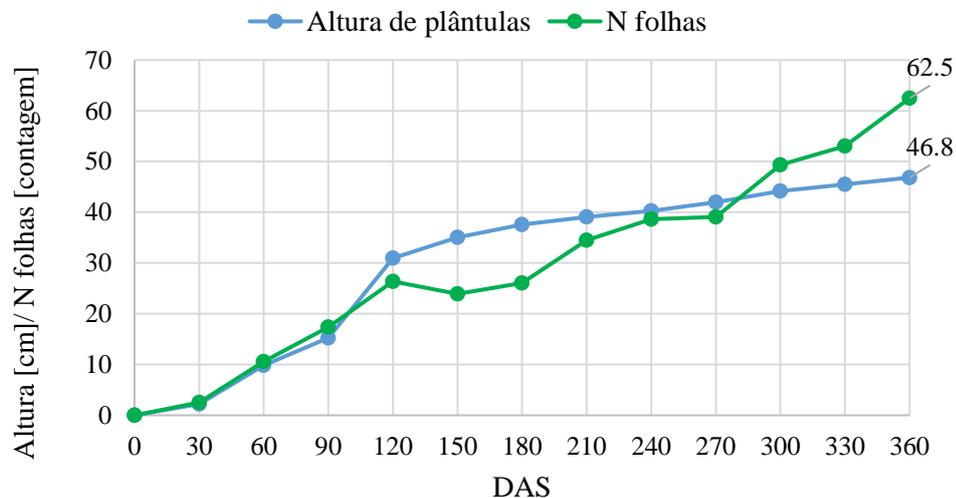
Fonte: Autor.

Legenda: (a): 30 DAS; (b): 90 DAS; (c): 300 DAS, durante a ocorrência de geadas; (d): indivíduo com 79 cm e +170 folhas, aos 360 DAS.

A rusticidade no crescimento já era esperada para a espécie, tendo em vista alguns resultados promissores publicados com o maricá na reabilitação ambiental de cavas de minas de argila em Guaíba, RS, onde a espécie prosperou sobre um substrato altamente pedregoso e inóspito (TOSO, 2018), servindo como facilitadora para outras espécies nativas sob sua copa. A taxa de emergência da espécie foi semelhante nos dois tratamentos de cobertura, ainda que a mortalidade tenha sido maior no feijão-de-porco. Isso sugere uma preferência da espécie por ambientes mais iluminados, dada a sua intolerância ao sombreamento, descrita por Durigan et al. (2004).

Devido às suas múltiplas ramificações, o maricá adquire um crescimento horizontalizado, o que garante que muitos ramos tenham brotações e que o número de folhas aumente em ritmo constante. Observa-se na Figura 16 um cruzamento da linha de Número de folhas sobre a linha de Altura. É um parâmetro pouco estudado, mas que pode elucidar um padrão que apenas algumas espécies expressam. No experimento, é o caso da pata-de-vaca, maricá e pitanga.

Figura 16 - Série de crescimento de *Mimosa bimucronata* em semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.



Fonte: Autor.

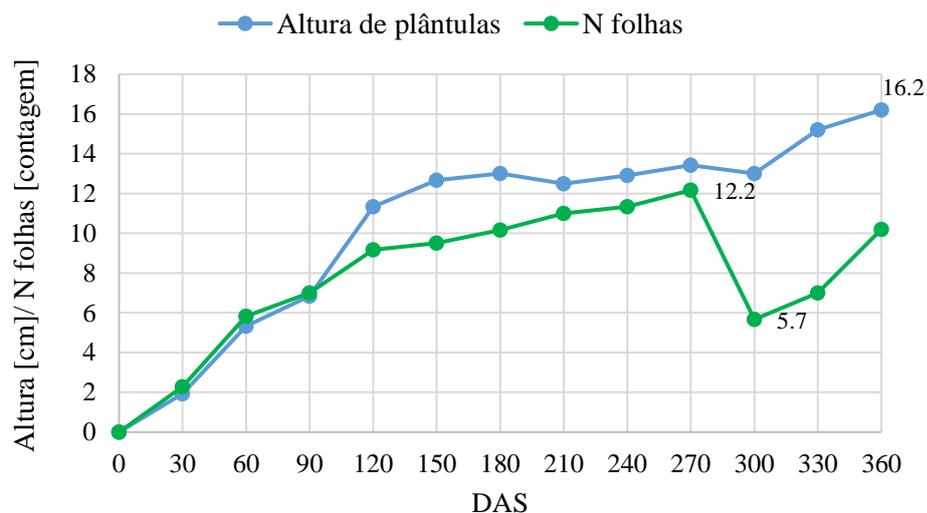
Angico-Vermelho (Parapiptadenia rigida (Benth.) Brenan)

O angico-vermelho é uma espécie arbórea da família Fabaceae que pode atingir até 20 metros de altura, de sucessão pioneira a secundária inicial. Seu epíteto específico provavelmente se deve à rigidez do lenho (BURKART, 1979). Ocorre nas regiões Centro-

Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, estando presente também na Argentina, Paraguai e Uruguai. Habita capoeiras, clareiras de florestas e beiras de estrada, com numerosos indivíduos regenerantes; até florestas estacionais semidecíduais e decíduais, ocupando o estrato emergente. Apresenta grande tolerância ao frio, suportando geadas severas. Suas flores são de grande aptidão melífera (CARVALHO, 2002). Eibl et al. (1994) classificam as sementes como recalcitrantes, pela alta perda de viabilidade nos meses subsequentes à coleta.

A taxa de germinação média da espécie foi de 6,5%, muito abaixo dos valores de laboratório (85% - DDPA). A avançada idade do lote – que datava 15 meses na época da sementeira – somada à profundidade de sementeira além do ideal para a espécie se constituem em explicações importantes para a baixa emergência. A perda de viabilidade nas sementes armazenadas de angico-vermelho é atenuada em ambiente frio e embalagem de polietileno (impermeável), reduzindo a dessecação das sementes (FOWLER e CARPANEZZI, 1998), diferentemente de como o lote de sementes em questão estava armazenado. Apesar da resistência ao frio relatada na literatura, o angico-vermelho sofreu danos nos tecidos em decorrência da geada aos 300 DAS (APÊNDICE A), com forte queda do número de folhas e leve decréscimo no ritmo de crescimento, logo retomados nos meses seguintes (Figura 17). Carvalho (2002) descreve que geadas fortes retardam o crescimento da espécie (Figura 18).

Figura 17 - Série de crescimento de *Parapiptadenia rigida* em sementeira direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.



Fonte: Autor.

Figura 18 - Plântulas de *P. rigida* em semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.



Fonte: Autor.

Legenda: (a): 30 DAS; (b): estresse hídrico aos 150 DAS; (c): brotos terminais danificados pela geada aos 300 DAS; (d): indivíduos agrupados em berço, o maior deles com 33 cm de altura, aos 360 DAS.

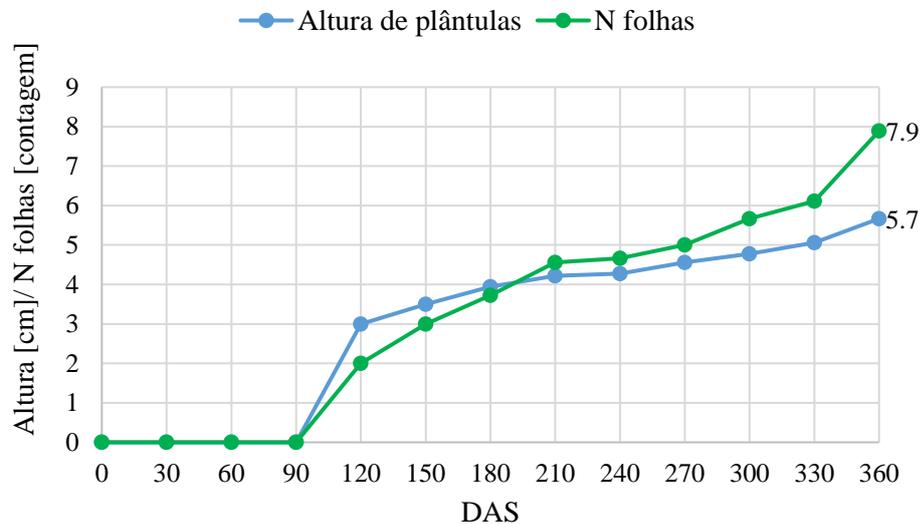
Por ser espécie heliófila, o ambiente com maior insolação do pousio foi mais propício para a emergência da espécie, embora 4 das 10 plântulas emergidas neste tratamento tenham morrido, 3 delas aos 60 DAS. É uma estratégia da espécie a formação de denso banco de plântulas sob as árvores-mãe; logo, a seleção natural filtra os indivíduos aptos ao estabelecimento, de modo que apenas uma pequena parcela das plântulas geradas chega à idade adulta e em bom nicho espacial na dinâmica sucessional da floresta. Apesar da pouca emergência do angico no FP, não houve mortalidade neste tratamento até o final das avaliações. Conhecido por sua intolerância ao sombreamento quando adulto (DURIGAN et al., 2004), o angico possui elevada plasticidade quando na fase juvenil. O sombreamento pelo feijão-deporco, portanto, não causou mortalidades às plântulas, ainda que possa ter anulado emergências.

Pitanga (Eugenia uniflora L.)

A pitanga tem em seu nome a origem tupi-guarani – “*pyrang*” – que significa “vermelha”. É um arbusto ou árvoreta com ocorrência em clima tropical e subtropical, em países como a Argentina, Paraguai, Uruguai, e no Brasil, nos biomas Cerrado, Pampa e Mata Atlântica, sendo muito frequente em todas as formações florestais do Rio Grande do Sul (SOBRAL, 2013). Espécie comumente avistada em áreas abertas, ou associada a bordas de florestas, a pitangueira tem um fruto muito apreciado pela fauna, inclusive a humana, e tem grande importância em projetos de restauração florestal.

A pitangueira se destacou pela resistência à geada (Figura 19), não apresentando perda de folhas ou redução do ritmo de crescimento (Figura 20). O desenvolvimento da pitangueira no experimento não teve diferenciação estatística quanto ao efeito das coberturas nas emergências, mortalidade e efetivação.

Figura 19 - Série de crescimento de *E. uniflora* em semeadura direta para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.



Fonte: Autor.

Figura 20 - Plântulas de *E. uniflora* em semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.



Fonte: Autor. Legenda: (a): 210 DAS; (b): plântulas aos 300 DAS, durante ocorrência de geadas; (c): plântula aos 360 DAS, apresentando dicotomia nos ramos, típico para a espécie.

EFEITO DA COBERTURA

A hipótese de que o consórcio de espécies herbáceas (incluindo cultivos anuais de adubação verde) com espécies arbóreas ou florestais pode favorecer o estabelecimento das espécies florestais já foi testada em outros trabalhos, com aplicações na redução do uso de herbicidas em plantações de madeira (WILLOUGHBY e MCDONALD, 1999), pomares de frutas, sistemas silvipastoris (NICHOLS et al., 2001, e na restauração ecológica, em climas temperados (BALANDIER et al., 2009; ;) e tropicais (VIEIRA et al., 2009; GUERIN et al., 2015; FREITAS et al., 2019), utilizando *Cannavalia ensiformis* (feijão-de-porco), *Cajanus cajan* (feijão-guandu) e *Crotalaria spectabilis* (crotalária) como espécies facilitadoras para o desenvolvimento inicial das plântulas na semeadura direta de espécies florestais. O sombreamento vem a controlar o desenvolvimento de espécies gramíneas agressivas que retardam o desenvolvimento e o estabelecimento das espécies florestais, além de criar um microclima para a manutenção de temperatura e umidade mais favoráveis às plântulas

(PROVENDIER e BALANDIER, 2004). No bioma Pampa existem poucos estudos com a semeadura direta de espécies florestais, como os de Mattei e Rosenthal (2002) e Meneghelo e Mattei (2004), ambos na região de Pelotas, RS, testando o desempenho de *Enterolobium contortisiliquum*, *Cedrela fissilis* e *Peltophorum dubium*, embora sem enfoque na facilitação por espécies de cobertura.

O efeito da cobertura do feijão-de-porco no controle de espécies espontâneas ficou abaixo do esperado (Tabela 7), o que provavelmente se deve à baixa densidade com que a espécie foi implantada, de 4 sementes por m², se comparado com a densidade de cobertura utilizada em outros experimentos, como por Freitas et al. (2019), de 3 sementes de feijão-de-porco, 1 semente de feijão-guandu e 6 sementes de crotalária por m².

O feijão-de-porco obteve 85 cm de altura aos 180 e 210 DAS, com sua máxima cobertura no experimento na avaliação de 210 DAS (maio de 2020), apresentando simultaneamente novos brotos e flores e dispersão autônoma de sementes (Figura 21).

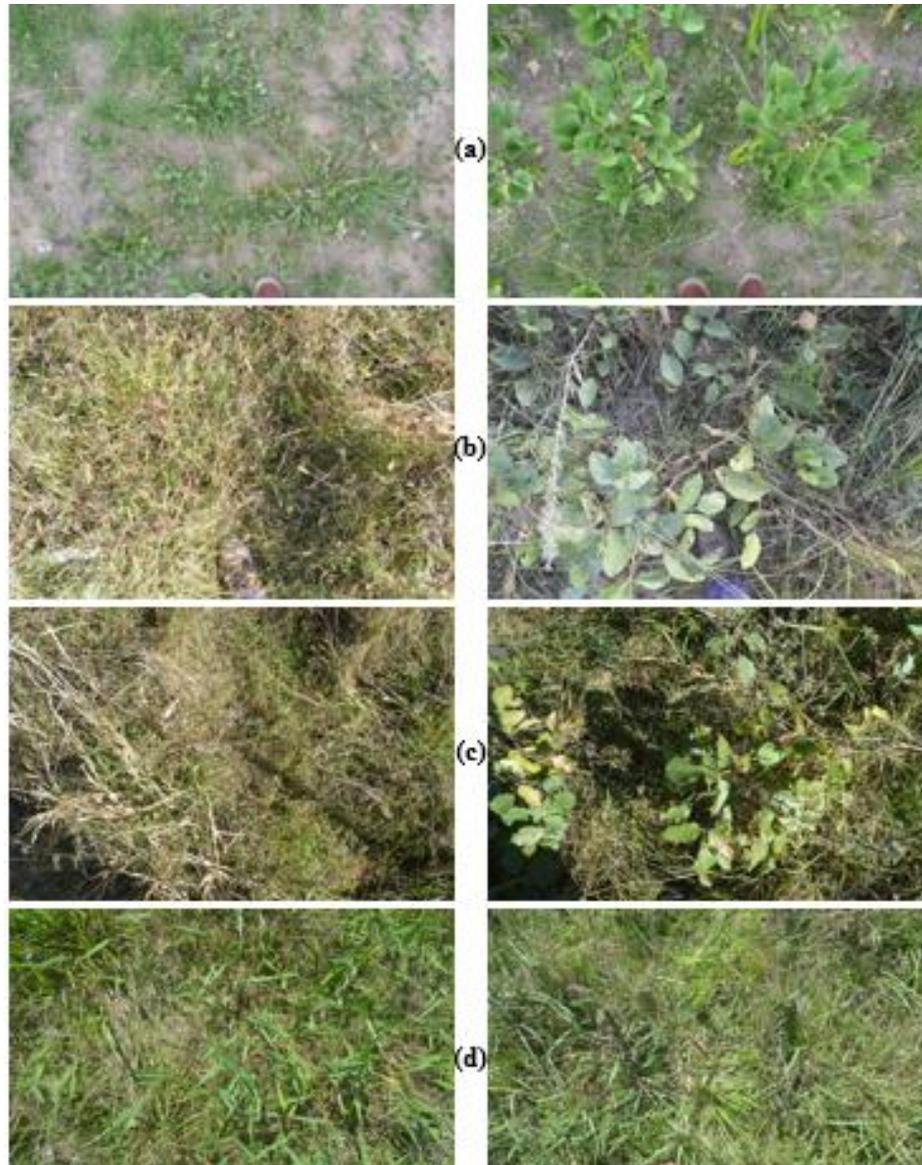
Figura 21 – Desenvolvimento de *Cannavalia ensiformis* (feijão-de-porco) como cobertura verde no experimento de semeadura direta de espécies florestais na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.



Fonte: Autor. Legendas: (a): cobertura do solo aos 210 DAS; (b): planta de feijão-de-porco com flores, frutos verdes e frutos maduros, aos 210 DAS; (c): detalhe da flor; (d): sementes da espécie em germinação no experimento, após dispersão autônoma.

A evolução da cobertura do solo de ambos os tratamentos (Figura 22) permitiu a constatação de que o feijão-de-porco teve baixa longevidade no experimento, com perda aguda da densidade de folhagem aos 270 DAS, com a chegada dos meses de frio na região. Um ano após a semeadura, restavam apenas os caules mortos das plantas de cobertura, com efeito nulo de sombreamento, e a densidade das espécies espontâneas estava equilibrada nos dois tratamentos. A cobertura do feijão-de-porco proporcionou performance de efetivação e altura estatisticamente superior para *Annona sylvatica* e *Enterolobium contortisiliquum*.

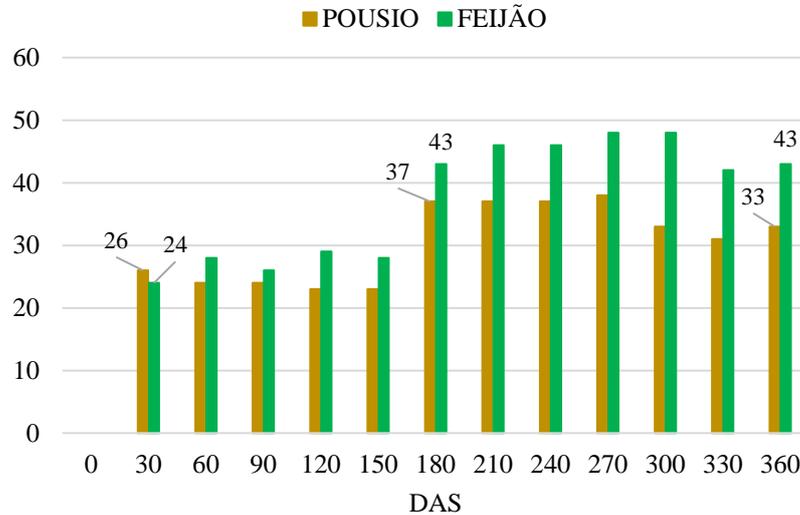
Figura 22 – Cobertura do solo proporcionada pelos tratamentos de espécies espontâneas e semeadas na entrelinha de semeadura direta de espécies florestais na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.



Fonte: Autor. Legendas: coluna da esquerda: pousio; coluna da direita: feijão-de-porco; (a): 90 DAS; (b): 180 DAS; (c): 270 DAS; (d): 360 DAS.

A mortalidade das plântulas é o parâmetro em que os tratamentos tiveram maior diferenciação nos percentuais. A menor mortalidade no feijão-de-porco pode ser explicada por um efeito de proteção das plântulas às oscilações de temperatura e à perda de umidade, aliado a uma redução na ocupação do solo por gramíneas espontâneas, em comparação com o pousio. O fator causal mais relevante para as fatalidades é o frio intenso das geadas, no trimestre final das avaliações, para o qual as plântulas no tratamento de pousio estavam menos protegidas (Figura 23).

Figura 23 – Número de plântulas vivas a cada 30 dias após a semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal Pampa – Mata Atlântica.



Fonte: Autor.

Legenda: DAS = Dias Após a Semeadura.

A densidade final de plântulas obtida é considerada baixa para a efetivação da restauração ecológica de ecossistemas florestais, e considerando que a área conta com apenas seis espécies florestais que prosperaram na semeadura. Rezende e Vieira (2009) obtiveram uma densidade de 6.000 indivíduos por hectare após três anos da semeadura. Rodrigues et al. (2019) encontraram uma densidade de 3.546 indivíduos por hectare pertencentes a 39 espécies em área com três anos após semeadura direta, em fisionomia florestal do Cerrado. Freitas et al. (2019), analisando áreas restauradas por semeadura direta de várias idades em Mato Grosso, constataram uma média de densidade de 4.972 plântulas por hectare, atingindo até 24.000. Estes pesquisadores utilizam, no estudo, uma densidade de espécies florestais maior que a do presente trabalho, da ordem de 20 a 40 sementes por m² (de 200.000 a 400.000 sementes por hectare), em que aproximadamente metade das sementes são de 15 a 20 espécies pioneiras, que crescem rapidamente e fecham a cobertura de copa, e a metade restante das sementes pertencem a 30 – 60 espécies de sucessão tardia. Souza e Engel (2018), entretanto, obtiveram 1.265 plântulas por hectare após dois anos em uma operação de semeadura direta com dois eventos de semeadura. Estes autores também retratam a emergência das espécies como o principal fator de constrição na SD, ainda que com sobrevivências geralmente acima dos 60%.

A distância média entre plântulas foi analisada para a comparação com o espaçamento regular praticado em plantios convencionais de mudas em projetos de RAD, e o resultado

revelou um espaçamento semelhante ou maior que o praticado nos plantios convencionais de mudas. A pequena diferenciação entre os dois tratamentos de cobertura para esse parâmetro atesta a baixa efetividade do feijão-de-porco, na densidade em que foi implantado e sem consórcio com outras coberturas, em proporcionar condições de microclima diferenciadas para o estabelecimento das plântulas florestais na SD para restauração ecológica em clima temperado. Com efeito, a paisagem final do experimento após um ano da sementeira não se diferenciou do aspecto de um plantio convencional de mudas.

Tabela 7 – Desempenho dos tratamentos de cobertura após um ano de sementeira direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição ecotonal dos biomas Pampa – Mata Atlântica.

Tratamentos de cobertura	Pousio (controle)	Feijão
Taxa de Emergência	2.8%	3.2%
Taxa de Mortalidade	24.2%	13.9%
Taxa de Sobrevivência	75.8%	86.1%
Altura [cm]	18.4	23.7
Quantidade de folhas	18.9	20.1
Efetivação da sementeira	2.1%	2.7%
Espécies efetivadas	6	5
Densidade da sementeira de florestais [sementes/ha]	100.000	
Densidade de plântulas [ind/ha]	1.375	1.792
Distância média entre plântulas [m]	3.1	2.7

Fonte: Autor.

VARIÁVEIS ANALISADAS E QUALIDADE DA RESPOSTA

Cada variável analisada no presente estudo se mostrou mais adequada para a explanação de um conjunto de aspectos visados para a explanação dos resultados. Dada a incipiência da técnica de SD na região do estudo, não há ainda um conjunto de indicadores ecológicos consolidados para o monitoramento e predição dos resultados, ainda que as variáveis utilizadas tenham correspondências com as utilizadas no Brasil central. A presente seção visa discussões a respeito do andamento das variáveis analisadas e taxas utilizadas, a fim de servir como subsídio refinado para pesquisas posteriores que venham a complementar e até mesmo debater os dados aqui apresentados.

A quantidade de emergências é uma variável que dá a resposta inicial, pois mostra a arrancada real que as sementes fazem para o desenvolvimento. Depois de alguns meses o dado estabiliza, uma vez que não haverá novidades para o restaurador. Considerando as espécies avaliadas e as condições em que foram semeadas (sem quebra de dormência), as sementes que não emergiram em 6 meses já fazem parte da matéria orgânica do solo, não estando mais viáveis a emergir. Com o dado de emergências são calculadas, posteriormente, as taxas de mortalidade de plântulas e de efetivação de indivíduos.

A variável Altura, medida a cada 30 dias, fornece uma série de dados valiosa para a avaliação, dentro de cada espécie, do ritmo de crescimento em resposta às condições edafoclimáticas. A comparação de alturas entre espécies semeadas simultaneamente e em mesmas condições garante subsídios para a escolha de espécies para a composição de projetos de RAD. A quantidade de folhas, por ser um dado bastante mutável entre as espécies e para cada indivíduo no decorrer das estações e eventos meteorológicos, consiste em um grande arcabouço de informações dignas de aprofundado estudo. Em períodos de estresse hídrico, notou-se em todas as espécies um comportamento de perda de folhas basais. A perda de folhas em decorrência das geadas, por sua vez, é um comportamento relativo entre as espécies.

Uma elucidação de indicador para avaliar a SD na região é a taxa de efetivação, que se refere a proporção de plântulas estabelecidas com relação ao total de sementes envolvidas no processo. É uma taxa que transcende a sobrevivência, que gera uma informação relacionada à quantidade de plântulas vivas em relação às sementes germinadas. A efetivação é um parâmetro operacional, por informar a taxa de sucesso da implantação, o que serve para um ajuste mais rigoroso da densidade de sementes florestais na SD.

CONCLUSÃO

A semeadura direta de espécies florestais na transição Pampa – Mata Atlântica gerou resultados promissores para o uso na restauração ecológica em clima temperado. A geada é um fator limitante ao estabelecimento e retardante do desenvolvimento de algumas espécies menos resistentes ao frio, o que deve ser levado em consideração na seleção de espécies para a restauração ecológica por semeadura direta na região. A timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong), o maricá (*Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze) e o araticum (*Annona sylvatica* A.St.-Hil.) foram as espécies com as melhores taxas de emergência e efetivação no experimento, seguidos pelo angico (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan), pitanga (*Eugenia uniflora* L.) e pata-de-vaca (*Bauhinia forficata* Link.). Devido ao comprovado efeito alelopático do maricá sobre espécies alimentares cultivadas, recomenda-se maiores estudos sobre a interação da espécie com outras espécies arbustivo-arbóreas nativas antes do uso operacional na SD para restauração ecológica.

Todas as espécies da família Fabaceae usadas no experimento obtiveram efetivação. Houve uma tendência de melhores resultados para espécies com sementes maiores, e apenas uma espécie de semente recalcitrante apresentou emergência. Fatores como a qualidade e o tamanho das sementes florestais, a época, a densidade e a profundidade de semeadura podem ser mais profundamente investigados enquanto preditores da performance das espécies na SD. Para o aprimoramento dos resultados finais obtidos em novas implantações de SD para restauração ecológica na região, recomenda-se uma densidade de semeadura de pelo menos 300.000 sementes florestais por hectare, abordando a maior diversidade de espécies possível, viável e disponível.

A mortalidade média de plântulas no tratamento de feijão-de-porco foi reduzida à metade com relação ao pousio. A proteção contra o ressecamento fornecida pelo feijão-de-porco no verão foi mais efetiva que a proteção contra a geada, no inverno, devido à sensibilidade da própria cobertura ao frio. Para o uso de adubação verde como facilitação ao desenvolvimento inicial de espécies florestais por semeadura direta em clima temperado, recomenda-se uma maior densidade de sementes de adubação (10 sementes de feijão-de-porco por metro quadrado, por exemplo) e consórcio com outras espécies leguminosas, como o feijão-guandu (*Cajanus cajan*), crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e ervilhaca (*Vicia* spp.), e não leguminosas, como a aveia-preta (*Avena strigosa*), milheto (*Pennisetum glaucum*), nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*) e trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum*). A cobertura do feijão-de-porco

proporcionou efetivação de plântulas e altura estatisticamente superior para *Annona sylvatica* e *Enterolobium contortisiliquum*.

Devido à incipiência da técnica na região, propõe-se o manejo adaptativo como ferramenta de monitoramento e adequação das práticas de restauração ecológica por semeadura direta, reconhecendo a extensão rural como ponte de acesso aos saberes etnobotânicos associados às comunidades locais. Espera-se que os presentes resultados sejam de grande serventia em dar condições à germinação de iniciativas socioprodutivas no âmbito do mercado de sementes florestais no Rio Grande do Sul, na forma de redes e cooperativas locais, envolvendo pequenos agricultores e povos assentados e tradicionais.

A semeadura direta pode iluminar às sementes florestais enquanto produtos florestais não madeireiros dignos de valorização, e o protagonismo das comunidades locais nas redes de sementes são a forma mais socialmente justa para esse novo nicho de mercado se estabelecer. A fertilidade advinda de oficinas e capacitações a partir de parcerias entre as comunidades, universidades e instituições de extensão rural é vasta, e pode oxigenar a eficiência ecológica, social e econômica dos projetos de recuperação de áreas degradadas na região.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, R.S.; et al. Tratamentos físicos e químicos na superação da dormência em sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.4, n.2, p.159-159, 2009.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22(6), p. 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- BEHLING, H; PILLAR, V.D. & BAUERMANN, S.G. Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil). *Review of Palaeobotany and Palynology*, v.133, p. 235– 248, 2005.
- BENINI, R. M. et al. Custos de restauração da vegetação nativa no Brasil. In. BENINI, R. M.; ADEODATO, S. *Economia da Restauração Florestal*, São Paulo (SP): The Nature Conservancy, 2017.
- BRANCALION, P. et al. *Restauração Florestal*. São Paulo: Oficina de textos, 2015. 431 p.
- BRASIL. Adesão do Brasil ao Desafio de Bonn e à Iniciativa 20x20. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Cancún, México, 3 de dezembro de 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/adesao-do-brasil-ao-desafio-de-bonn-e-a-iniciativa-20x20-1>.
- BURKART, A. *Leguminosas mimosoideas*. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1979. 299 p.
- CHAZDON, R.; BRANCALION, P.; Restoring forests as a means to many ends: an urgent need to replenish tree canopy cover call for holistic approaches. *Science Magazine: perspectives*. v. 365, p. 24-25. 2019.
- CAMPOS-FILHO, E. M. et al. Mechanized direct-seeding of native forests in Xingu, Central Brazil. *Journal of Sustainable Forestry*, v. 32, pp. 702–727, 2013. <https://doi.org/10.1080/10549811.2013.817341>
- CARDOSO, V.J.M. Conceito e Classificação da Dormência de Sementes. *Oecologia Brasiliensis*, 13(4): 619-630, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/45396785_Conceito_e_classificacao_da_dormencia_em_sementes.
- CARPANEZZI, A. A. et al. Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: a observação de laboratórios naturais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. *Anais*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, v.3, p.216-221, 1990.
- CARVALHO, P. E. R. Circular Técnica 58: Angico-Gurucaia (*Parapiptadenia rigida*). Colombo, PR: Embrapa Florestas, 14 p, 2002. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/304480/1/CT0058.pdf>.

CARVALHO, P. E. R. Circular Técnica 74: Pata-de-Vaca (*Bauhinia forficata* Link.). Colombo, PR: Embrapa Florestas, 12 p. 2003. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/314128/1/CT0074.pdf>.

CARVALHO, P. E. R. Circular Técnica 94: Maricá (*Mimosa bimucronata*). Colombo, PR: Embrapa Florestas, 10 p. 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/41450/1/circ-tec94.pdf>.

CARVALHO, P. E. R. Circular Técnica 138: Cafezeiro-do-Mato (*Casearia sylvestris*). Colombo, PR: Embrapa Florestas, 16 p. 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/42433/1/Circular138.pdf>.

CARVALHO, P. E. R. Circular Técnica 148: Maria-Mole-do-Banhado (*Symplocos uniflora*). Colombo, PR: Embrapa Florestas, 6 p. 2008. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/310581/1/circtec148.pdf>;

CECCON, E.; GONZÁLEZ, E. J.; MARTORELL, C. Is direct seeding a biologically viable strategy for restoring forest ecosystems? Evidences from a meta-analysis. *Land Degrad. Develop.*, v. 27, pp. 511-520. 2016. <https://doi.org/10.1002/ldr.2421>

CRUZ, R. C.; GUADAGNIN, D. L. Uma pequena história ambiental do Pampa: proposta de uma abordagem baseada na relação entre perturbação e mudança. In: *A sustentabilidade da Região da Campanha - RS: práticas e teorias a respeito das relações entre ambiente, sociedade, cultura e políticas públicas*. Cap. 8, pp. 154-178. 2012. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppggeo/files/ebook02/Artigo%208.pdf>.

DAVE, R., et al. Barómetro de progreso do Desafio de Bonn: Relatório de foco de 2017. Gland, Suíça UICN, 36 p, 2018.

DURIGAN, G. et al. A flora arbustivo-arbórea do Médio Paranapanema: Base para a restauração dos ecossistemas naturais. In: *Pesquisas Em Conservação e Recuperação Ambiental No Oeste Paulista: Resultados Da Cooperação Brasil/Japão*. Cap. 13, pp. 199-239. 2004.

DURIGAN, G. et al. Ecological Restoration of Xingu Basin headwaters: motivations, engagement, challenges and perspectives. *Philosophical transactions of the Royal Society*, v. 368, p. 1-9. 2013.

DUTRA, V.F. et al. *Mimosa in Flora do Brasil 2020*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB18769>>.

EIBL, B.I.; SILVA, F.; CARVALHO, A.; CZEREPACK, R.; KEHL, J. Ensayos de germinación y análisis cuantitativo en semillas de especies forestales nativas de Misiones, R.A. Yvyretá, Eldorado, v.5, n.5, p.33-48, 1994.

ENGEL, V. L.; PARROTA, J. A. An evaluation of direct seeding for reforestation of degraded lands in central São Paulo state, Brazil. *Forest Ecology and Management*, v. 152, pp. 169–181, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00600-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00600-9)

FOWLER, A.J.P.; BIANCHETTI, A. Dormência em sementes florestais. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2000. 27p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/290718/1/doc40.pdf>

FOWLER, J.A.P.; CARPANEZZI, A.A. Conservação de sementes de angico-gurucaia (*Parapiptadenia rígida* (Bentharn) Brenan). Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n.36, p.5-10, 1998.

FREITAS, M. G. et al. Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten Years. *Forest Ecology and Management*, v. 438, p. 224-232. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.024>

FRIGIERI, F. F. Guia de plântulas e sementes da Mata Atlântica do estado de São Paulo. Piracicaba, SP: IPEF, 2016. 99p. Disponível em: http://www.lcb.esalq.usp.br/sites/default/files/publicacao_arq/978-85-89142-06-9.pdf

GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Metodologias de restauração florestal. In: Fundação Cargill (coord.). *Manejo ambiental e restauração de áreas degradadas*. São Paulo: Fundação Cargill, 2007. p. 109-143.

GAZZOLA, M. D. Adequação ambiental de áreas de preservação permanente no campus sede da Universidade Federal de Santa Maria. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Curso de Graduação em Engenharia Florestal – Santa Maria, RS: 2018, dados não publicados.

GOMES, T. NatGeo Ilustra: Pampa. In. **NatGeo Ilustra Biomas**, National Geographic, publicado em 22 de abril de 2020. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/natgeo-ilustra/pampa>.

GUERIN, N. et al. Avanços e próximos desafios da semeadura direta para restauração ecológica. In: Martins, S.V. (Ed.). *Restauração ecológica de ecossistemas degradados*. 2. ed. Viçosa: UFV, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de Biomas do Brasil: primeira aproximação. Rio de Janeiro, 2004. 1 mapa. Escala 1:5 000 000. Projeção policônica. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomas.html?=&t=acesso-ao-produto>.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP). Dados da Estação Meteorológica Convencional nº 83936, de 1/10/2019 a 20/10/2020. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/#>.

JACOBI, U. S.; FERREIRA, A. G. Efeitos alelopáticos de *Mimosa bimucronata* sobre espécies cultivadas. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v. 26, n. 7, p. 935-943, 1991.

KETTLE, C. J. Seeding ecological restoration of tropical forests: Priority setting under REDD+. *Biological Conservation*, v. 154, pp. 34–41. 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2012.03.016>

LOPES, G. L. Compêndio Online: Laboratório de Manejo Florestal. 14 de março de 2012. Disponível em: <https://sites.unicentro.br/wp/manejoflorestal/6668-2/>.

MARCHIORI, J.N.C. Fitogeografia do Rio Grande do Sul: Campos Sulinos. Porto Alegre: Est Edições, 2004. 110 p.

MATTEI, V. L.; ROSENTHAL, M. D. Semeadura Direta de canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.)Taub. No enriquecimento de capoeiras. Revista Árvore, v.26, n.6, p.649-654. 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000600001>

MENEGHELLO, G. E.; MATTEI, V. L. Semeadura direta de timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*), canafístula (*Peltophorum dubium*) e cedro (*Cedrela fissilis*) em campos abandonados. Ciência Florestal, v.14, n.2, p.21-27. 2004. <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1803/1067>

MMA. Bioma Pampa. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/pampa>.

MOLIN, P. G. et al. A landscape approach for cost-effective large-scale forest restoration. Journal of Applied Ecology. p. 1-12. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13263>

O ECO (Online). Soja e silvicultura tornam o Pampa o 2º bioma mais ameaçado do país. Por Fernanda Wenzel, em 17 de junho de 2018. Disponível em: <https://www.oeco.org.br/reportagens/soja-e-silvicultura-tornam-o-pampa-o-2o-bioma-mais-ameacado-do-pais/>.

OLIVEIRA, G. S.; ARAUJO, M. M. ; AIMI, S. C. ; GRIEBELER, A. M. ; COCCO, I. T. Caracterização da morfologia, emergência e sobrevivência de *Annona sylvatica* em viveiro. In: VI Simpósio de Biodiversidade, 2017, Santa Maria. VI Simpósio de Biodiversidade, com o tema Extinções: fatos, ameaças e perspectivas, 2017.

OLIVEIRA, R. E.; ENGEL, V. L. Indicadores de monitoramento da restauração na Floresta Atlântica e atributos para ecossistemas restaurados. Scientia Plena, v. 13, n. 12. 2017a.

OLIVEIRA, R. E.; ENGEL, V. L. A restauração florestal na Mata Atlântica: três décadas em revisão. Revista Ciência, Tecnologia e Ambiente, v. 5, n. 1, p. 40-48. 2017b.

OLIVEIRA, R. E.; ENGEL, V. L. A restauração florestal na Mata Atlântica. Ciência, Tecnologia e Ambiente, Vol. 5, No. 1, 40-48. 2017c. <http://dx.doi.org/10.4322/2359-6643.05101>

OVERBECK, G. E.; BOLDRINI, I. I.; CARMO, M. R. B.; GARCIA, E. N.; MORO, R. S.; PINTO, C. E.; TREVISAN, R.; ZANNIN, A. Fisionomia dos Campos. In: PILLAR, V. de P.; LANGE, O (Coord). Os Campos do Sul. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos – UFRGS, 2015. Cap. 3, p. 33-44.

PALMA, A. C.; LAURANCE, S. G. W. A review of the use of direct seeding and seedling plantings in restoration: what do we know and where should we go? Applied Vegetation Science, v. 18, p. 561–568. 2015.

PASSARETTI, R.A.; PILON, N. A. L.; DURIGAN, G. Weed control, large seeds and deep roots: Drivers of success in direct seeding for savanna restoration. *Applied Vegetation Science*. 2020;00:p. 1–11. <https://doi.org/10.1111/avsc.12495>

PELLIZZARO, K. F. et al. “Cerrado” restoration by direct seeding: field establishment and initial growth of 75 trees, shrubs and grass species. *Brazilian Journal of Botany*, v. 40, n. 3, p. 681-693. 2017.

PEREIRA, B. A. S. Árvores do Bioma Cerrado: Família Anacardiaceae. Disponível em: <https://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/lista-de-especies/familia-anacardiaceae-2-2/>. Acesso em julho de 2021.

PILLAR, V.D. Dinâmica da Expansão Florestal em Mosaicos de Floresta e Campos no Sul do Brasil. In: Claudino-Sales, V. (org.) *Ecossistemas Brasileiros: Manejo e Conservação*. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2003. p. 209-216.

PROVENDIER, D., BALANDIER, P. Contrôler la végétation en plantation forestière: premiers résultats sur les modifications micro-environnementales engendrées par l’utilisation de plantes de couverture. *Ingénieries-EAT* 40, 61–72. 2004.

RAMBO, P. R. A fisionomia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Livraria Selbach, 1956. 456 p.

REINERT, D. J. et al. Principais solos da Depressão Central e Campanha do Rio Grande do Sul: guia de excursão. 2 ed. Santa Maria: Departamento de Solos – UFSM, 2007. 47 p. Disponível em: http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Disciplinas/FundCiSolo/Guia_excursao_fundamentos_3edv3.pdf

REYES-GARCÍA, v. et al. The contributions of Indigenous Peoples and local communities to 2 ecological restoration. *Restoration Ecology*, v. 27, n. 1, p. 3-8. 2019.

REZENDE, G. M.; VIEIRA, D. L. M. Forest restoration in southern Amazonia: Soil preparation triggers natural regeneration. *Forest Ecology and Management*, v.433, p. 93-104. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.049>

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I (Org.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica**: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009.

RODRIGUES, R. R.; LIMA, R. A. F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experiences in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, Essex, v. 142, n. 6, p. 1242-1251, 2009.

RODRIGUES, S. B. et al. Direct seeded and colonizing species guarantee successful early restoration of South Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, v. 451, 117559, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117559>.

ROVEDDER, A. P. M.; OVERBECK, G. E.; PILLAR, V. Potencial da Regeneração natural da vegetação no Pampa. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2017. (divulgação tecnológica).

Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/325581059_Potencial_de_regeneracao_natural_da_vegetacao_no_Pampa

SOBRAL, M. et al. Flora arbórea e arborescente do Rio Grande do Sul, 2. Ed. São Carlos, SP: RiMa editora, 2013. 357p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.

SOUZA, D. C.; ENGEL, V. L. Direct seeding reduces costs, but is not promising for restoring tropical seasonal forests. *Ecological Engineering*, v.116, p. 35-44, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117559>

STEFANELLO, M. M.; ROVEDDER, A. P. M.; FELKER, R. M.; GAZZOLA, M. D.; CAMARGO, B. PIAIA, B. B. MATIELLO, J. PROCKNOW, D. SILVA, R. P.; PECCATTI, A. CRODA, J. P. How Bovine Livestock Affects Seed Rain in Subtropical Climate Forest. *Journal of Agricultural Science*, v. 11, p. 240-249, 2019.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Strategic approaches to restoring ecosystems can triple conservation gains and halve costs. *Nature Ecology & Evolution*, v. 3, p. 62-70. 2019

TOMAZ et. al. Tratamentos pré-germinativos em sementes de araçazeiro (*Psidium cattleianum* Sabine L.). *R. Bras. Agrociência*, Pelotas, v.17, n.1-4, p.60-65, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/74160/1/artigo08.pdf>

TOSO, L. D. Nucleação como gatilho ecológico na restauração de áreas mineradas no Rio Grande do Sul. *Disertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2018.*

URRUTH, L. M. Matriz de apoio à tomada de decisão sobre metodologias de recuperação de vegetação nativa. 2021. No prelo.

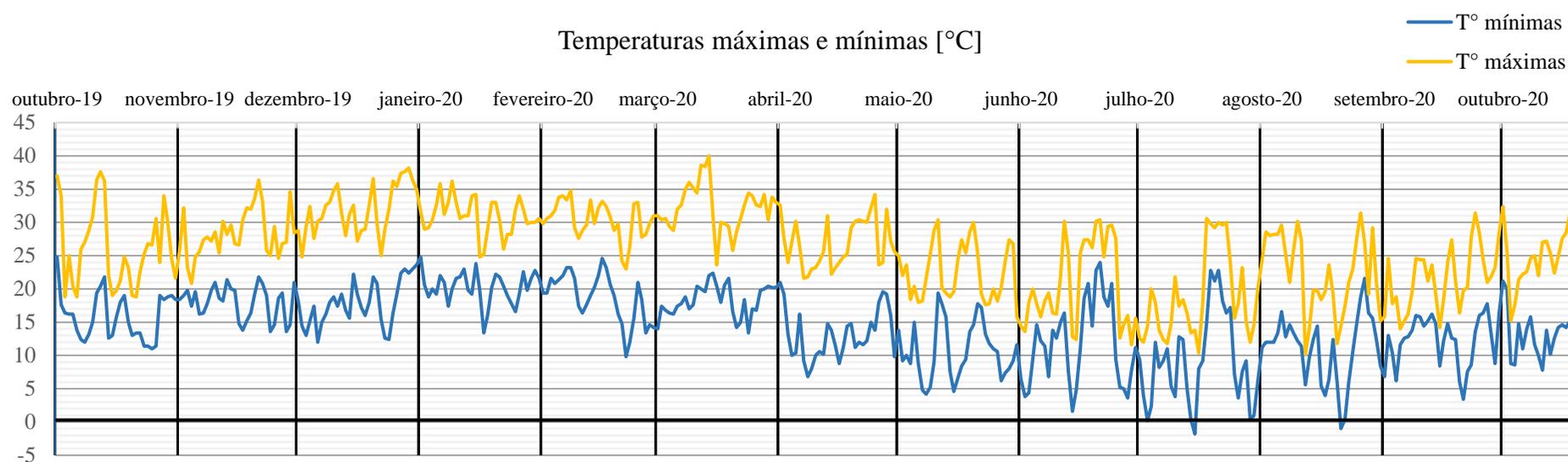
WALDRAM, M.S.; BOND, W.J.; STOCK, W.D. Ecological Engineering by a Mega-Grazer: White Rhino Impacts on a South African Savanna. *Ecosystems*, v.11, n.1, 2007. p.101-112.

WILLOUGHBY, I., MCDONALD, H.G. Vegetation management in farm forestry: a comparison of alternative methods of inter-row management. *Forestry* 72 (2), 109–121. 1999.

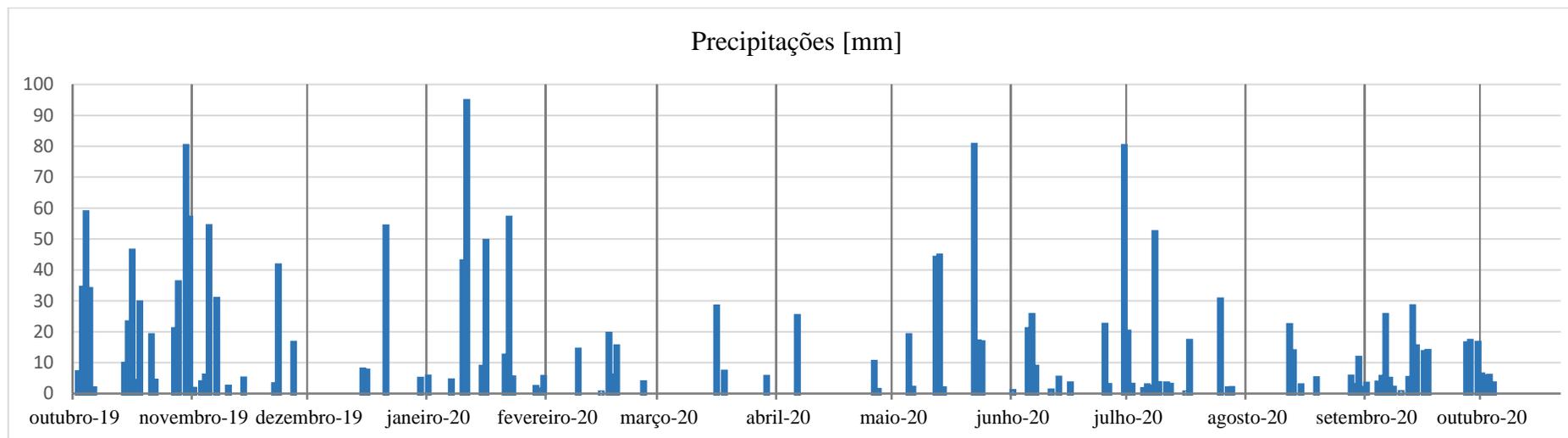
WRI BRASIL. Desafio de Bonn: as iniciativas que contribuem para o Brasil se tornar líder na restauração. Por Mariana Oliveira e Bruno Calixto em 17 de setembro de 2020. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/blog/iniciativas-que-estao-contribuindo-para-que-o-brasil-atinja-sua-meta-no-desafio-de-bonn-e-se>.

APÊNDICES

APÊNDICE A – TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS NA ESTAÇÃO MAIS PRÓXIMA DURANTE O PERÍODO DE AVALIAÇÃO



Fonte: Base de Dados Meteorológicos – INMET. Elaboração: Autor.

APÊNDICE B – PRECIPITAÇÕES NA ESTAÇÃO MAIS PRÓXIMA DURANTE O PERÍODO DE AVALIAÇÃO

Fonte: Base de Dados Meteorológicos – INMET. Elaboração: Autor.