

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:
AGRICULTURA E AMBIENTE**

Ana Paula Reis Zwetsch

**SILVICULTURA DE *Pinus elliottii* ENGELM NO LITORAL SUL DO
RIO GRANDE DO SUL: EFEITOS NO SOLO E NO LENÇOL
FREÁTICO**

Frederico Westphalen, RS
2023

Ana Paula Reis Zwetsch

SILVICULTURA DE *Pinus elliottii* ENGELM NO LITORAL SUL DO RIO GRANDE DO SUL: EFEITOS NO SOLO E NO LENÇOL FREÁTICO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Rafaelo Balbinot
Coorientador: Prof. Dr. Edner Baumhardt

Frederico Westphalen, RS
2023

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Reis Zwetsch, Ana Paula
Silvicultura de Pinus elliottii Engelm no Litoral Sul
do Rio Grande do Sul: efeitos no solo e no lençol
freático / Ana Paula Reis Zwetsch.- 2023.
86 p.; 30 cm

Orientador: Rafaelo Balbinot
Coorientador: Edner Baumhardt
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós
Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2023

1. Água subterrânea 2. Atributos do solo 3. Pampa
Litorâneo 4. Pinus elliottii I. Balbinot, Rafaelo II.
Baumhardt, Edner III. Título.

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

Declaro, ANA PAULA REIS ZWETSCH, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Ana Paula Reis Zwetsch

SILVICULTURA DE *Pinus elliottii* ENGELM NO LITORAL SUL DO RIO GRANDE DO SUL: EFEITOS NO SOLO E NO LENÇOL FREÁTICO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Aprovado em 30 de junho de 2023:

Rafaelo Balbinot, Dr.
(UFSM)
(Orientador)

Edner Baumhardt, Dr.
(UFSM)
(Co-orientador)

Elenice Broetto Weiller, Dra.
(Membro externo)

Willian Fernando de Borba, Dr.
(UFSM)
(Membro interno)

Frederico Westphalen, RS
2023

DEDICATÓRIA

Dedico a minha família, que mesmo em planos diferentes tornaram-se meu suporte diário.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela vida, por ter me guiado até aqui, por todas as oportunidades de vivência, pela força e fé de continuar e nunca desistir dos meus sonhos.

A minha mãe, Andreia Reis, que foi e sempre será meu alicerce e pilar de exemplo. Agradeço imensamente por acreditar e lutar por mim, tenho certeza de que sem você eu não chegaria até aqui.

A minha família, por sempre me apoiar em qualquer momento de dificuldade, e principalmente ao meu padrinho Maximiliano Eduardo Zwetsch e minha avó Maria Iolanda Cunha, que infelizmente, não estão mais entre nós para participar desta conquista junto comigo. Vocês são a base da minha vida e a quem eu dedico todo o meu trabalho.

Ao meu orientador, Rafaelo Balbinot por todo conhecimento e parceria, por acreditar em nosso trabalho, por sempre ver as coisas por outros ângulos e ser um exemplo de professor.

Ao meu coorientador Dr^o. Edner Baumhardt, agradeço a paciência, dedicação e esforço para que este trabalho saísse. Agradeço ainda pela amizade e a confiança nestes 7 anos de UFSM.

A Universidade Federal de Santa Maria, pelo excelente corpo docente, às estruturas de ensino, e a disponibilidade de equipamentos e funcionários.

Aos meus amigos e colegas de pós-graduação Luana, Samara, Eduardo e Claiton por todo apoio, ajuda, ideias, conforto em mais esta etapa de minha vida.

Ao LMPF, laboratório que me ensinou a trabalhar em grupo, a dividir para conquistar, a ter amigos em vez de colegas, agradeço imensamente por ter feito parte deste grande grupo de pesquisadores.

A empresa Flopal Florestadora Palmares, por disponibilizar uma área para o estudo, deslocamento, alimentação, hospedagem, funcionários a disposição e em especial ao Sr. Álvaro e Gabriel Begnini que acompanharam o estudo e todas as idas a campo comigo, além das vezes que eu não poderia me fazer presente eles tocavam o experimento. Portanto, agradeço imensamente as pessoas envolvidas nesta pesquisa.

Agradeço a todos que de forma direta ou indireta estiveram comigo durante esta caminhada, que fizeram a diferença em minha vida, vocês foram essenciais para este momento

RESUMO

SILVICULTURA DE *Pinus elliottii* ENGELM NO LITORAL SUL DO RIO GRANDE DO SUL: EFEITOS NO SOLO E NO LENÇOL FREÁTICO

AUTORA: Ana Paula Reis Zwetsch
ORIENTADOR: Rafaelo Balbinot
COORIENTADOR: Edner Baumhardt

A silvicultura de *Pinus elliottii* Engelm se expandiu no estado do Rio Grande do Sul, com base nos incentivos fiscais na década de 70, inclusive na região litorânea do Pampa. Porém, atualmente pesquisadores e ambientalistas estão questionando a viabilidade dessa atividade, visto que alguns estudos demonstraram possíveis impactos negativos no solo, na água, na fauna, na flora, dentre outros. Diante disso, este trabalho teve por objetivo, estudar o efeito da silvicultura de *Pinus* no solo e na água subterrânea. O trabalho foi desenvolvido na área experimental do projeto intitulado Fazenda Modelo Flopal, no município de Santa Vitória do Palmar- RS. Em relação ao solo, foi avaliado os atributos físicos e químicos em delineamento inteiramente casualizado, bifatorial de 3 x 5, na área de *Pinus* Mar , Vegetação Nativa e *Pinus* Lagoa , nas profundidades 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-100 cm, para as variáveis densidade, porosidade total, macro e microporosidade, percentual de argila, pH/ H₂O, fósforo , potássio , percentual de matéria orgânica , alumínio , cálcio , magnésio , capacidade de troca de cátions efetiva e com pH 7,0, hidrogênio e alumínio , percentual da saturação da CTC por bases e por alumínio, enxofre , zinco , cobre , boro , manganês . Observou-se que houve diferença estatística em relação a macroporosidade e microporosidade quanto ao local e às profundidades, apresentando os maiores valores para a silvicultura de *Pinus elliottii* para física do solo e as demais variáveis não diferiram entre si. Para química do solo houve diversos elementos que variaram em profundidade e local, exceto o K. Para a análise da água subterrânea foi perfurado 16 piezômetros, que eram monitorados com um medidor de nível (Jacirí) da Solinst ® periodicamente, e em 4 desses poços foi instrumentalizado com um sensor levelogger da Sigma Sensors®, com coleta de dados a cada 15 min. A partir disso, foi possível calcular a distribuição dos níveis, confecção das curvas de permanência total e por período de verão e ainda, avaliar a recarga pelo método Water Table Fluctuation. A partir das informações obtidas é possível afirmar que a silvicultura de *Pinus elliottii* Engelm na área de estudo não gerou alteração na dinâmica da água subterrânea em comparação com a vegetação nativa da Planície Costeira.

Palavras-chave: Água subterrânea. Atributos do solo. Pampa Litorâneo. *Pinus*.

ABSTRACT

SILVICULTURE OF *Pinus elliottii* ENGELM IN THE SOUTHERN COAST OF RIO GRANDE DO SUL: EFFECTS ON SOIL AND WATER TABLE

AUTHOR: Ana Paula Reis Zwetsch

ADVISOR: Rafaelo Balbinot

CO-ADVISOR: Edner Baumhardt

The forestry of *Pinus elliottii* Engelm expanded in the state of Rio Grande do Sul (RS), based on tax incentives in the 70s, including in the coastal region of the Pampa. However, currently researchers and environmentalists are questioning the viability of this activity, since some studies have shown possible negative impacts on soil, water, fauna, flora and others. Therefore, this work aimed to study the effect of pine forestry on soil and groundwater. The work was developed in the experimental area of the project entitled Fazenda Modelo Flopal, in the municipality of Santa Vitória do Palmar-RS. In relation to the soil, the physical and chemical attributes were evaluated in a completely randomized, bifactorial design of 3 x 5, in the area of Pinus Mar, Native Vegetation and Pinus Lagoa, at depths 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm and 40-100 cm, for the variables density, total porosity, macro and microporosity, percentage of clay, pH/ H₂O, phosphorus, potassium, percentage of organic matter, aluminum, calcium, magnesium, effective CTC with pH 7.0, hydrogen and aluminum, percentage of CTC saturation by bases and aluminum, sulfur, zinc, copper, boron, manganese. It was observed that there was a statistical difference in relation to macroporosity and microporosity regarding the location and depths, presenting better results for the silviculture of *Pinus elliottii* for soil physics and the other variables did not differ from each other. For soil chemistry there were several elements that varied in depth and location, except K. For the analysis of groundwater, 16 piezometers were drilled, which were monitored with a level meter (Jacirí) from Solinst® periodically, and in 4 of these wells was instrumented with a levellogger sensor from Sigma Sensors®, with data collection every 15 min. From this, it was possible to calculate the distribution of the levels, preparation of the curves of total permanence and by summer period and also to evaluate the recharge by the WTF (Water Table Fluctuation) method. From the information obtained it is possible to affirm that the silviculture of *Pinus elliottii* Engelm in the study area did not generate alteration in the dynamics of the groundwater in comparison with the native vegetation of the Coastal Plain.

Keywords: Groundwater. Soil attributes. Coastal Pampa. Pinus.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Mapa de Biomas presentes no Rio Grande do Sul, Brasil	17
FIGURA 2 – Defasagem da recarga em relação à precipitação	24
FIGURA 3 – Elevação hipotética do nível da água no poço em resposta à precipitação	28
FIGURA 4 – Separação de escoamento no hidrograma	29
FIGURA 5 – Localização da área do estudo no estado do Rio Grande do Sul – Brasil	31
FIGURA 6 – Localização dos pontos de monitoramento da coleta do solo	32
FIGURA 7 – Abertura da trincheira (A), coleta de amostras química (B) e física (C) do solo na área de estudo, embalagem (D).....	33
FIGURA 8 – Mapa de localização dos poços de monitoramento hidrológico.....	34
FIGURA 9 – Imagem dos poços 1 a 6 em diferentes momentos das coletas de dados.....	35
FIGURA 10 – Sensor transdutor de pressão, Base leitora de dados para Data Loggers Onset e Medidor de nível	37
FIGURA 11 Representação do Fluviograma e a curva de permanência.....	38
FIGURA 12 – Esquema ilustrativa da recarga subterrânea.....	39
FIGURA A.1 – Distribuição dos atributos físicos em relação a profundidade do solo e localização.....	52
FIGURA B.1 – Localização da área de estudo.....	65
FIGURA B.2 – Demonstração das precipitações das estações de Santa Vitória do Palmar- RS e Rio Grande -RS em comparativo a Normal Climatológica de forma mensal...69	
FIGURA B.3 – Disposição das recargas em cada piezômetro em função da precipitação.....	70
FIGURA B.4 – Curva de Permanência Total e para o Verão para os piezômetros 2, 5, 9 e 14....	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Métodos de estimativa de recarga divididos em métodos físicos, químicos e numéricos matemáticos	26
TABELA A.1 - Densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) de uma área de Pinus próximo ao Mar, área de campo nativo e área de Pinus próximo a Lagoa.....	51
TABELA A.2 - Argila, pH, Matéria Orgânica (MO), Fósforo (P), Potássio (K), Alumínio (Al), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Alumínio Trocável (Al + H), sob diferentes tipos de uso do solo.....	53
TABELA A.3 - CTC efetiva (CTCEF), CTC pH, Saturação por bases (SATB), Saturação por Alumínio (SATAI), Enxofre (S), Zinco (Z), Cobre (Cu), Boro (B) e Manganês (Mn), sob diferentes usos do solo.....	54
TABELA B.1 – Valores de macroporosidade do solo da área de estudo	67
TABELA B.2 – Recarga direta (bruta) dos piezômetros.....	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos específicos	15
1.1.3	Hipóteses	15
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	BIOMA PAMPA LITORÂNEO	17
2.2	<i>PINUS ELLIOTTII</i> ENGELM.	19
2.3	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO	20
2.3.1	Física e química do solo	20
2.4	ÁGUA SUBTERRÂNEA	22
2.4.2	Recarga Subterrânea	22
2.4.2.1	Porosidade e Rendimento Específico	24
2.4.2.2	Coefficiente de Armazenamento	25
2.4.3	Métodos de quantificação de recarga	25
2.4.3.1	Aproximação de Darcy's Law	27
2.4.3.2	Método Water Table Fluctuation (WTF)	27
2.4.3.3	Separação do Fluxo de Base	29
3.	MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1	ÁREA DE ESTUDO	30
3.2	COLETA DE SOLOS	31
3.3	ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO	33
3.4	COLETA E ANÁLISE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	34
3.4.1	Localização e descrição da área dos pontos de coleta	34
3.4.1.1	Porosidade	36
3.4.1.2	Rendimento Específico	36
3.4.2	Equipamentos utilizados	36
3.4.3	Curva de Permanência	37
3.4.4	Avaliação de recarga pelo método WTF	38
	REFERÊNCIAS	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
	ARTIGO A: SILVICULTURA DE PINUS NO BIOMA PAMPA: EFEITO NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO.	46

RESUMO.....	46
A.1 INTRODUÇÃO	46
A.2 MATERIAIS E MÉTODOS	47
A.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
A.4 CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS	58
ARTIGO B: EFEITO DA SILVICULTURA DE <i>Pinus elliottii</i> Engelm. NA RECARGA DO LENÇOL FREÁTICO EM ÁREA DE PLANÍCIE COSTEIRA NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL	63
RESUMO.....	63
B.1 INTRODUÇÃO	63
B.2 MATERIAIS E MÉTODOS	64
B.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
B.5 CONCLUSÕES.....	75
REFERÊNCIAS	76
5 CONCLUSÃO GERAL	80
APÊNDICE A - Distribuição dos atributos químicos Teor de argila, pH, MO e P em relação a profundidade do solo e localização	81
APÊNDICE B - Distribuição dos atributos químicos K, S, Ca e Mg em relação a profundidade do solo e localização	82
APÊNDICE C - Distribuição dos atributos químicos CTC Efetiva, CTC pH, Saturação por bases e Saturação por alumínio em relação a profundidade do solo e localização	83
APÊNDICE D - Distribuição dos atributos químicos Z, B, Cu e Mn em relação a profundidade do solo e localização	84
APÊNDICE E - Distribuição dos atributos químicos Al e Al + H em relação a profundidade do solo e localização	85
APÊNDICE F - Controle e aferição dos sensores com o medidor de nível (Jaciri).....	86

1 INTRODUÇÃO

O Pampa que é um bioma exclusivo do Rio grande do Sul, correspondendo a quase 63% do estado que foi reconhecido somente em 2004. Essa ação está modificando o rumo legislativo, ambiental e socioeconômico da região, contribuindo para conservação e identificação das potencialidades desse ambiente único (BENCKE, 2016). Os Campos Litorâneos são um dos quatro tipos de fitofisionomia do pampa gaúcho, representado pela planície costeira, possui um solo pouco estruturado, com baixa diversidade de espécies vegetativas, quando comparado a outros campos (PILLAR, 2015).

Esta região abrigou parte da expansão da silvicultura a partir da década 70 por incentivos fiscais, com a premissa de diminuir a exploração de árvores nativas e hoje se encontra em plena expansão. Os gêneros *Pinus* e *Eucalipto* se adaptaram muito bem à região do Pampa, suprimindo as necessidades madeireiras e não madeireiras (Instituto Horus, 2009).

As plantações do gênero *Pinus* no Sul do Brasil são criticadas em estudos (ZILLER, 2000), que observaram a dispersão da espécie exótica em área de Estepe Gramíneo-Lenhosa, no Paraná. O gênero *Pinus*, por conta da sua adaptabilidade e facilidade de dispersão pode invadir áreas frágeis e ocasionar a perda de diversidade. Desta forma, surgem questionamentos sobre os impactos que a silvicultura poderia ocasionar na quantidade e distribuição dos elementos naturais em locais de maior susceptibilidade (ARRARTE, 2007).

De forma geral, entende-se que a remoção da vegetação natural gera grandes alterações no meio, mas só será compreendido o grau dessa ação com estudos sobre os aspectos físicos, químicos e biológicos de quantificar o impacto. A maioria das degradações de solo estão ligadas a perda da estrutura e sua qualidade funcional (GOLÇALVES, 2002).

Além dos solos, os monocultivos de árvores consomem água subterrânea e podem prejudicar os demais usos como cultivos e o abastecimento da população, se houver diminuição do nível do lençol freático (GIANUCA, 2009). Em alguns casos, pode afetar a qualidade da água subterrânea (MENEZES, 2012).

Portanto, é cada vez mais necessário o mundo tenta entender o real custo ambiental do desenvolvimento e das escolhas que foram feitas no passado. Desdeo início do século XXI, é básico o “Desenvolvimento Sustentável” (VASQUES, et al., 2007), que permite entender as interações ecossistêmicas a partir da inclusão de nova espécie e como seria possível harmonizar com o ambiente, não alterando solo e água de forma significativa. Tornando-se, ambientalmente sustentável.

Diante disso, esse estudo pretende identificar os efeitos do tipo de uso e ocupação do solo, exercidos sobre a recarga de água subterrânea e o solo em relação aos atributos físicos e químicos na planície costeira, se tornando fundamental para o esclarecimento dessas questões debatidas por diversos grupos de pesquisadores e ambientalistas em relação ao impacto ambiental da silvicultura de *Pinus elliottii*.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar o efeito da silvicultura de *Pinus elliottii* no solo e na água no litoral sul do Rio Grande do Sul.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar e comparar os aspectos físicos e químicos do solo sob cultivo de *Pinus* e vegetação nativa;
- Determinar o nível do lençol freático na área de estudo para o perfil do solo;
- Comparar a dinâmica de recarga do lençol freático sob cultivo de *Pinus elliottii* e vegetação nativa;

1.1.3 Hipóteses

- O cultivo de *Pinus elliottii* não altera significativamente as características físicas e químicas do solo no bioma Pampa Litorâneo.
- A dinâmica de recarga do lençol freático do bioma Pampa Litorâneo não é alterada pela silvicultura de *Pinus elliottii*.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Estruturalmente o trabalho foi dividido em revisão bibliográfica, apresentando os quatro principais pontos relevantes do estudo. O primeiro é uma breve descrição do bioma Pampa em conjunto com a expansão da silvicultura, o segundo apresenta a espécie *P. elliottii* e as possibilidades de produtos, por terceiro a situação do solo em suas classificações físicas e químicas e por último a água subterrânea dividida em recarga e seus métodos de quantificação.

Posteriormente são apresentados os artigos que compõem os resultados e discussão do trabalho: O primeiro artigo estuda diretamente os fatores químicos e físicos do solo em uma situação comparativa de campo nativo e silvicultura de *Pinus elliottii*. No segundo artigo apresenta a dinâmica hidrológica comportamental do *Pinus elliottii* no litoral do Bioma Pampa

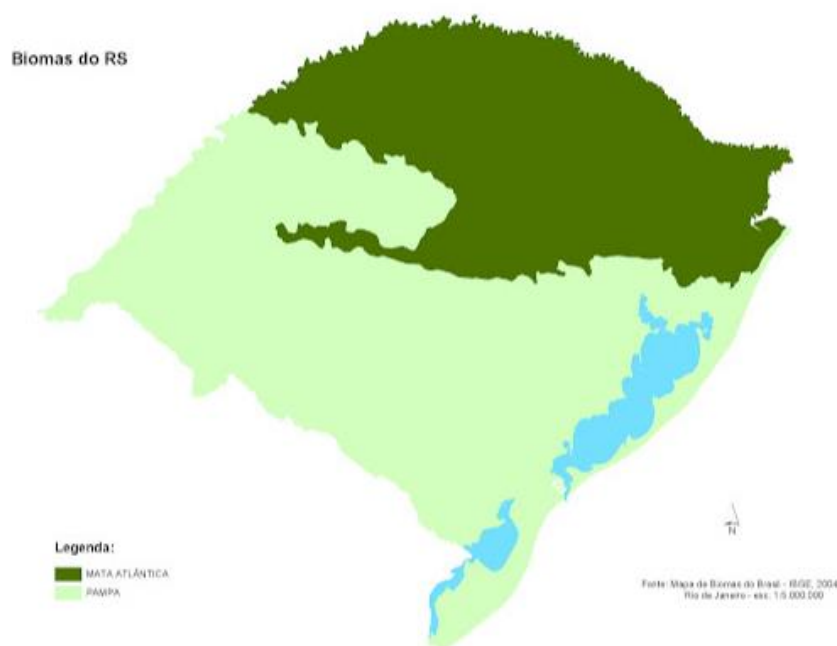
também comparativamente com a situação original. E por fim, as considerações finais e conclusão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BIOMA PAMPA LITORÂNEO

O Pampa é um dos seis biomas do território brasileiro juntamente com Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pantanal e Amazônia. O estado do Rio Grande do Sul é o único estado que possui este bioma, sendo reconhecido em 2004, anteriormente era considerado como Campos Sulinos anexo ao bioma Mata Atlântica (Figura 1). Representando aproximadamente 63% do território gaúcho (ROESCH et al., 2009), formado por quatro principais conjuntos de fitofisionomia campestre natural, ou seja, tipos de vegetação típicas do local, sendo elas Depressão Central, Planalto da Campanha, Planalto Sul Rio Grandense e Planície Costeira, que são concomitantemente influenciadas pelo solo, relevo, clima e manejo (BRASIL/MMA, 2007).

Figura 1- Mapa de Biomas presentes no Rio Grande do Sul, Brasil.



Fonte: IBGE (2006).

Em relação a sua extensão, vale ressaltar que esse bioma não é de exclusividade Brasileira, mas faz parte de uma extensão natural que vai desde a totalização do Uruguai, o

centro-leste da Argentina ao extremo sudeste do Paraguai e metade do Estado do Rio Grande do Sul (Brasil). A extensão total da *Pastizales del Río de la Plata*, assim denominada a região, abrange mais de 760 mil km² (OVERBECK, et al, (2015).

O pampa litorâneo é formado por solos arenosos e pouco estruturados (PILLAR, 2015), geralmente com baixo teor de argila, resultando em menor capacidade de retenção de água, prejudicando normalmente a vegetação por estresse hídrico, mas em alguns casos a variação de retenção de água ocorre em função do micro relevo do local (AZEVEDO, 2020).

A vegetação campestre da planície litorânea é classificada como campos litorâneos (BOLDRINI; LONGHI-WAGNER, 2011). Possui presença marcante de espécies prostadas, estoloníferas ou rizomatosas, cobrindo parcialmente ou totalmente o solo, resultando em pouca exposição. Ainda, segundo Boldrini (2009), as principais espécies são representadas por *Ischaemum minus*, *Axonopus affinis*, *A. obtusifolium*, *Paspalum notatum*, *P. pauciciliatum*, *P. modestum*, *P. pumilum*, *Panicum aquaticum*, *Leersia hexandra* e *Luziola peruviana*.

Todavia, quando comparada com outros campos, apresenta baixa riqueza específica (GARCIA, 2005), relacionada a redução do campo por sua conversão para outros usos (GUADAGNIN et al., 2009). Ainda, Pillar e Quadros (1997), responsabilizam de forma independente a ação do pastejo e o fogo para mudanças de fisionomia em “campo limpo” (sem componente lenhoso) e “campo sujo” (campo com arbusto).

Por outro lado, Pillar et al. (2009) comentam que os campos sulinos são ecossistemas naturais de alta diversidade, por conta da garantia de diversos serviços ambientais intrínsecos à conservação do próprio ambiente ligados aos recursos hídricos, disponibilidade de polinizadores e recursos genéticos.

O Pampa é caracterizado por ter uma amplitude térmica anual maior comparada aos outros biomas, e ainda, os valores de precipitação tendem a diminuir conforme seguem em direção ao sul e interior do continente, com média de 1.300 mm, com baixa incidência de seca no verão (AZEVEDO, 2020).

A formação social do humano conhecido como “gaúcho” iniciou com as etnias indígenas Charruas e Minuanos no sul do estado, posteriormente com a vinda dos europeus em forma dos jesuítas espanhóis fugitivos do Paraguai, iniciaram a peregrinação com o gado bovino (SANTOS, 1984). O gado era criado em terras jesuíticas, não tendo nenhum cuidado com a alimentação do animal, pois se adaptou muito bem as vastas pastagens do local. De outra forma, Pesavento (1994), descreve que a perseguição contra os jesuítas para torná-los mão de obra escrava, acabou deixando o gado abandonado e solto pelo estado. Independente de qual estória é verídica, o fato é que o gado a muito tempo se fez o uso do solo principal no Pampa e apesar

de parecer um fator prejudicial ao bioma, ele permitiu a conservação fundamentado na manutenção das espécies gramíneas e leguminosas (EMBRAPA, 2006).

Contudo, no passar dos tempos a pecuária ficou em segundo plano, dando espaço a outras atividades com maior monetização, como a monocultura agrícola e de silvicultura que acabam por modificar o campo (BASKIN, 2002; PEREIRA, 2014). A principal preocupação está relacionada com a invasão de espécies lenhosas exóticas como o Pinus e o Eucalipto, que além de causar mudanças na paisagem, alteram a distribuição de diversos recursos naturais e ainda propiciam algumas doenças (ARRARTE, 2007). Segundo Jobbagy e Jackson (2007), pode diminuir a quantidade e qualidade da água, aumentando até o grau de salinização, conforme observado no Uruguai.

2.2 *PINUS ELLIOTTII* ENGELM

O Pinus é o maior gênero da família Pinaceae com mais de 126 espécies (PEÑA, 2008) originárias do Hemisfério Norte, nativas da Europa, Ásia, América do Norte e Central (MARCHIORI, 1996). Esse gênero foi introduzido fora do seu habitat para agregar no comércio, realizada em diversos países como Nova Zelândia, Brasil, Colômbia, Chile, Argentina, Uruguai, África do Sul, Austrália e dentre outros (SHIMIZU, 2018).

No Brasil, a história do Pinus iniciou há mais de um século, introduzida por imigrantes europeus com o objetivo ornamental e ou madeireiro. O estado do Rio Grande do Sul, foi aparentemente pioneiro com o plantio do *Pinus canariensis* desde 1880, e nas últimas décadas foi expandido os experimentos com diversidades de espécies para os demais estados (Shimizu e Sebbenn, 2008).

A exploração da vegetação nativa, principalmente da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) no sul do Brasil, propiciou a expansão da pinocultura (PRATES, 1997 apud Antonangelo e Bacha, 1998). A partir da Lei nº 1.506 (BRASIL, 1966) que trata dos incentivos fiscais para os empreendimentos ligados à produção florestal, a silvicultura foi impulsionada. As principais espécies de Pinus introduzidas foram de origem americana, sendo *P. palustris* Mill., *P. echinata* Mill., *P. elliottii* Engelm. e *P. taeda* L., ressaltando que elliottii e taeda se sobressaíram por conta de seu crescimento rápido e adaptabilidade a fatores edafoclimáticos e resultando em alta produtividade e rendimento (SHIMIZU, 2008).

O *Pinus elliottii* Engelm, presta homenagem ao botânico Stephen Elliott, que o classificou, distinguindo-o do *Pinus taeda* (LITTLE JÚNIOR; DORMAN, 1954),

diferenciando-se do número e comprimento das acículas no fascículo, cones e casca. Esta espécie possui origem subtropical, nativo do sul e sudeste do Estados Unidos. Possui característica de alta produção madeireira, além de melhor qualidade física e mecânica quando comparado ao *P. taeda*, e resina rica em pinenos.

Essa espécie, adapta-se bem a solos úmidos ou com baixa deficiência hídrica e com clima mais frio (SHIMIZU, 2008). Da mesma forma Lohrey e Kossuth (1990), salientam que são originários de solos classificados como podosolo, ultisolo e entisolo, embora se adequem bem a diferentes condições de topografia e solo, mas a potencialização do seu crescimento é em margens de lagos, com alta umidade do solo e boa aeração.

Atualmente os plantios do gênero ocupam uma área de 1,7 milhões de hectares no Brasil, concentrados nos estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais e Goiás, mantendo-se as áreas estáveis quando comparada aos últimos anos. O estado do Rio Grande do Sul representa 18% dos plantios de pinus do país, referente ao ano de 2020 (IBÁ, 2021), aumentando em 1% do percentual visto em 2019 e recorrente do ano de 2018 com o mesmo aclave (IBÁ, 2020).

2.3 NEOSSOLO QUARTZARÊNICO

2.3.1 Física e química do solo

A física do solo possui importância na avaliação da degradação e na identificação de práticas de uso sustentável, além de estar estritamente ligada a biologia e química do solo, por conta de uma depender da outra, ou seja, alterando qualquer um dos aspectos influi no outro (DEXTER, 2004).

A física do solo pode ter dois efeitos principais, quanto a sua qualidade segundo Dexter, (2004) e Richart et al. (2005) sendo má qualidade quando ocorre baixa aeração do solo, baixa capacidade de infiltração da água, erosão, compactação do solo, redução da condutividade hidráulica, dificuldade de mecanização, dificuldade de crescimento de raízes e além de outros. Por outro lado, a boa qualidade do solo reflete as condições contrárias.

O solo funciona em um sistema trifásico, com a parte sólida, a água e o ar. A porosidade é a área que pode ser preenchida por água ou ar, local pelo qual ocorrem os processos vitais da planta (HILLEL, 1970). Essa porosidade é classificada em macroporos e microporos, sendo que os macroporos, ou seja, grandes poros, são responsáveis pela redistribuição da água ou ar,

infiltração da água e aeração. Já os microporos, pequenos poros no solo, proporcionam a retenção e armazenamento da água (MOZART, 2010).

A porosidade possui correlação com a matéria orgânica sendo que quanto maior a disponibilidade deste atributo, maior a quantidade de poros. Ainda essa relação pode ser observada com o aumento da profundidade do solo, que na maioria dos casos diminui o valor de MO e acaba diminuindo também a porosidade e conseqüentemente aumentando a densidade do solo (BRAIDA et al., 2011).

A densidade do solo é a relação da massa do solo seco em estufa pelo seu respectivo volume, ou seja, representa todo o solo incluindo seus poros. A alteração dos valores de densidade pode ter diversas causas, até mesmo de modo natural como a eluviação de argilas ou por formas induzidas por forças mecânicas com pressão ao solo (SECCO et al., 2004). Geralmente em solos de uso florestal a densidade do solo pode aumentar por causa do uso de maquinário pesado, provocando a compactação do solo, podendo atingir um aumento da densidade em cerca de 60 % (SEIXAS, 1998). A física do solo ainda pode ser complementada com a compressibilidade do solo, resistência mecânica à penetração que auxiliam na tomada de decisão e verificação dos atributos do solo.

A granulometria e os fatores físicos interferem diretamente na disponibilidade dos atributos químicos, uma vez que, a temperatura e aeração são ligeiramente maiores do que comparadas a solos argilosos, favorecendo a degradação da Matéria Orgânica (MO), uma das principais fontes de nutrientes, reduzindo a CTC e aumentando a acidez do solo resultando em diminuição da fertilidade (BARRETO et al, 2006).

Por outro lado, as condições favoráveis para ocorrer a absorção e adsorção de nutrientes via solo são dependentes da alcalinidade e acidez do solo. Segundo Tomé Júnior (1997), o pH abaixo de 4,5 pode ser considerado limitante para boa parte das culturas, principalmente em situações na qual ocorre baixa saturação de bases e altas concentrações de H⁺Al.

Em clima tropical, os atributos Saturação por bases, Soma de bases, Capacidade de troca de cátions, servem como parâmetros essenciais para avaliar a fertilidade do solo e sua qualidade, por conta da grande produção de biomassa e alta acidez nesses locais, ocasionando a indisponibilidade de nutrientes (MELLO, 1983).

O neossolo quartzarênico geralmente possui limitações quanto sua exploração para cultivos, sejam eles agrícolas ou florestais, pois apresentam baixa fertilidade natural, sustentada pelo teor baixo de nutrientes, além da elevada acidez do solo. Porém, quando controlado esses fatores com correções do solo e fertilização deixa de haver uma limitação, propiciando os cultivos (LEITE, 2017).

Além disso, quando utilizado um sistema intensivo de uso nesse tipo de solo, pode alterar os atributos físicos e químicos, ocasionando degradações e até perda da qualidade do solo, não sendo sustentável. Com isso a avaliação dos atributos gera bons indicadores da qualidade, além do monitoramento da área quanto ao melhor uso com menor degradação (ARSHAD et al., 1996).

2.4 ÁGUA SUBTERRÂNEA

2.4.1. Conceitos iniciais

A água subterrânea é toda a água que circula na zona saturada, que está abaixo da superfície. Denomina-se ainda aquífero a formação geológica que contém água e permite a movimentação da mesma em condições naturais. Há basicamente dois tipos de aquífero, sendo o Confinado e o Livre que são separados em não drenante e drenante e, ainda o Suspenso que faz parte do Aquífero Livre (FREEZE; CHERRY, 1979).

Os recursos hídricos subterrâneos e superficiais não são componentes isolados do sistema hidrológico, visto que o ciclo da água é fechado. Além disso os aquíferos caracterizados como livres, exercem importante papel na regulação das vazões de outros cursos de água nos períodos mais secos, sendo responsável por grande parte da perenidade desses cursos de água (MAZIERO, 2005).

2.4.2 Recarga Subterrânea

Conceitualmente a recarga em água subterrânea significa a entrada de água em forma disponível na zona saturada¹, somada ao fluxo natural da água ao longo do lençol freático dentro da zona (FREEZE; CHERRY, 1979).

A recarga pode ocorrer de forma natural via precipitação, por rios, canais, lagos e fluxos entre os aquíferos, ou via fenômenos induzidos pela ação humana como a irrigação (LERNER et al., 1990). Segundo Fetter (1994), a principal fonte de recarga em aquíferos é a precipitação,

¹ Zona Saturada: é a região abaixo da zona não saturada onde os poros ou fraturas da rocha estão totalmente preenchidos por água. As águas atingem esta zona por gravidade, através dos poros ou fraturas até alcançar uma profundidade limite, onde as rochas estão tão saturadas que a água não pode penetrar mais (REBOUÇAS, 1996).

por conta da disponibilidade de água para umedecimento do solo e propiciando o escoamento superficial, desta mesma forma auxilia na percolação profunda ao nível freático. Diante disso, Neto e Kiang (2008), afirmam que um dos principais fatores para gestão da água é a recarga da água subterrânea, por estar ligada diretamente com o escoamento superficial.

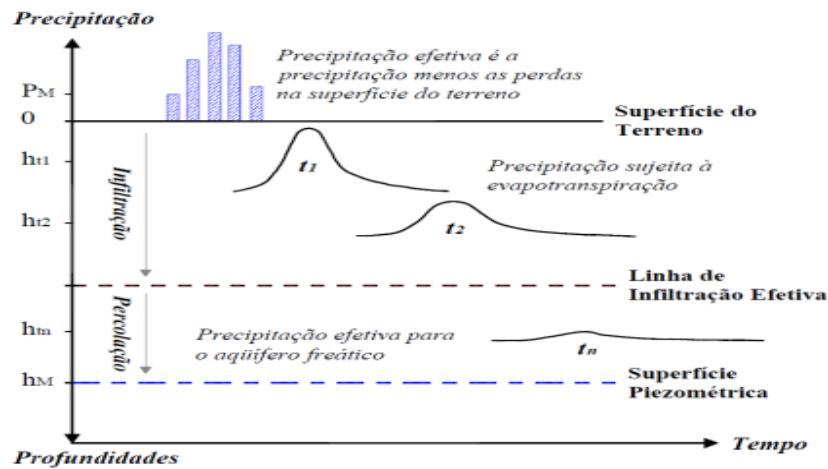
Baumhardt (2014) destacou que a recarga é uma função direta da união e a própria atuação de diversos parâmetros do ciclo hidrológico, como a própria precipitação, infiltração, evaporação, descarga, características morfológicas sobre a bacia de estudo e dentre outros.

A recarga pode ser classificada em três tipos, sendo recarga direta, com a percolação vertical, atravessando a zona vadosa, recarga indireta, com percolação até a zona saturada através do leito de curso de água superficial e recarga localizada, que representa uma forma intermediária de recarga, com concentração horizontal de água, podendo até ser temporária (LERNER, 1990). Por outro lado, Rushton (1997) distingue em recarga efetiva, a que corresponde a água que atinge o lençol freático, e recarga potencial, que incorpora a água infiltrada, sem chegar no aquífero.

A infiltração da chuva no solo, não é necessariamente de um único evento de precipitação, dependendo do tipo de solo e condições de cobertura pode postergar a entrada de água no sistema e conseqüentemente aumentando o nível do lençol freático e aumento do gradiente de descarga (MAZIERO, 2017) Xu e Beekman (2003) demonstraram que pode ocorrer uma defasagem da precipitação na recarga, sendo difícil correlacionar os eventos de chuva com a variação do nível do lençol freático, justificado pela propagação tridimensional da umidade do solo (Figura 2).

Desta forma, a recarga é de extrema importância, mas é necessário conhecer bem a forma precisa do parâmetro (HEALY; COOK, 2002). Os autores fazem ainda, uma revisão bibliométrica sobre os métodos de recarga existentes e comentam as suas aplicabilidades, concluindo que o método Water Table Fluctuation (WTF) se sobressai, sendo de fácil compreensão e gera bons resultados.

Figura 2 - Defasagem da recarga em relação à precipitação



Fonte: Modificado de Xu e Beekman, 2003.

2.4.2.1 Porosidade e Rendimento Específico

A porosidade neste caso, é o mesmo conceito de porosidade retratada no subtítulo física do solo, e se refere a quantidade de poros em um volume total, sendo representada pela equação:

$$\text{Porosidade total (n)} = \frac{\text{Volume de vazios (Vv)}}{\text{Volume Total (Vt)}} \quad (1)$$

A porosidade total (n) também pode ser representada pela equação 2, no qual fornece a quantidade total de água preenchida nos poros. Porém nem toda água está disponível no solo para drenagem, por isso essa água é dividida em Rendimento Específico (Sy) na qual possibilita a drenagem com ação da força de gravidade, já a que fica retida nas partículas de solo é denominada Retenção Específica (Sr) (HEATH, 1983).

$$n: Sy + Sr \quad (2)$$

O rendimento específico é necessário para o cálculo de recarga nos métodos que utilizam as flutuações do nível de água e pelo balanço hídrico. Por se tratar de um parâmetro variável ele pode ser substituído pela porosidade efetiva ou pelo coeficiente de armazenamento (BAUMHARDT, 2014).

2.4.2.2 Coeficiente de Armazenamento

O coeficiente de armazenamento pode ser denominado como o volume de água que o aquífero libera ou recebe em forma de armazenamento por unidade da área superficial do aquífero² e por unidade de variação de carga³ (HEATH, 1983).

O tipo de classificação do aquífero interfere diretamente no cálculo do coeficiente de armazenamento, por exemplo, se o aquífero for livre ele basicamente drena pela ação da gravidade, sendo quase nula a ação de expansão do volume da água e compressão do aquífero, logo considera-se este coeficiente igual ao rendimento específico do referido aquífero. Portanto, para um aquífero não-confinado, o armazenamento é calculado pela Fórmula 3 (FETTER, 1994):

$$S = S_y + (h \cdot S_s) \quad (3)$$

Onde, S é o coeficiente de armazenamento, S_y é o rendimento específico, h é a espessura da zona saturada e S_s é o coeficiente de armazenamento específico daquela formação.

Com isso, o valor do rendimento específico, torna-se bem maior que o produto da espessura, multiplicado com o coeficiente de armazenamento específico, possibilitando o diagnóstico que o coeficiente de armazenamento é igual ao rendimento específico (FREEZE; CHERRY, 1979; FETTER, 1994;).

2.4.3 Métodos de quantificação de recarga

Há diversos métodos disponíveis para a quantificação da recarga subterrânea, assim como diferentes fontes e processos de recarga. Cada método possui limitações relacionadas a aplicação e confiança. Por conta disso, um estudo de quantificação da recarga subterrânea deve prever a seleção de um ou mais métodos apropriados de acordo com as escalas de tempo e espaço requeridas (SCANLON et al., 2002), conforme pode ser observado na Tabela 1.

² Área superficial do aquífero: Espessura da zona saturada (HEATH, 1983).

³ Unidade de variação de carga: Variação da carga hidráulica do local (HEATH, 1983).

Tabela 1 - Métodos de estimativa de recarga divididos em método físico, químico e numérico matemático.

ZONA	TÉCNICA	MÉTODO	DESCRIÇÃO
SUPERFICIAL	FÍSICA	CWB	Aplicação do balanço hídrico a um trecho do canal.
		SM	Determinação da taxa de infiltração a partir da variação do volume de água no infiltrômetro.
		BF	Separação do escoamento de base a partir da hidrógrafa de uma seção do canal.
	TRAÇADORES	Heat	A variação de temperatura pode ser utilizada para estimativa de recarga.
		Isotopic	Os isótopos estáveis ^{16}O e ^2H podem ser usados para identificar a recarga de rios e lagos
NUMÉRICAS	WM	A recarga é estimada como um termo residual do modelo precipitação-escoamento superficial.	
NÃO - SATURADA	FÍSICA	Lysimet	Utilização de lisímetros. No entanto, lisímetros são mais apropriados para cálculo da evapotranspiração.
		ZFP	Simplificação do balanço hídrico no solo abaixo do ZPF (gradiente hidráulico vertical é igual a zero)
		Darey's Law	Aplicação da Lei de Darcy. Obs.: A condutividade hidráulica varia com o teor de umidade do solo.
	TRAÇADORES	CMB	A recarga é estimada a partir do balanço de massa de cloreto na água de chuva e no perfil do solo.
		Historical	Análise da distribuição do traçador (^3H e ^{36}Cl) como um resultado de atividades acontecidas no passado
NUMÉRICA	UFM	Simulação do fluxo não-saturado, por exemplo, usando a equação de Richards.	
SATURADA	FÍSICA	WTF	As variações do nível d'água são proporcionais a recarga/descarga.
		CRD	A resposta do nível d'água para recarga é proporcional à precipitação acumulada.
		RIB	Melhoramento do CRD, incorporando ajustes de tendências das séries de precipitação
		SVF	Estima a recarga a partir da variação do volume de armazenamento no aquífero.
		EV-SF	Balanço hídrico em escala da bacia hidrográfica.
		Darey's Law	Aplicação da Lei de Darcy
	TRAÇADORES	CMB	A recarga é estimada a partir do balanço de massa de cloreto na água de chuva e na água subterrânea.
		GD	A recarga é derivada a partir da presença histórica de traçadores na água subterrânea
	NUMÉRICAS	EARTH	Modelo de parâmetros hidrológicos usado na simulação da recarga e evolução piezométrica.
GM		A recarga é derivada a partir de modelo de fluxo de água subterrânea.	
CWB: Channel water Budget BF: Baseflow SM: Seepage Meters ZFP: Zero Flux Plane CMB: Chloride Mass Balance UFM: Unsaturated Flow Modelling WTF: Water Table Fluctuation GM: Groundwater Modelling			CRD: Cumulative Rainfall Departure RIB: Rainfall Infiltration Breakthrough SVF: Saturated Volume Fluctuation EV-SF: Equal Volume - Spring Flow GD: Groundwater Dating EARTH: WTF: Extended model for Aquifer Recharge and Moisture Transport through Unsaturated Hardrock

Fonte: Adaptado de Maziero (2005).

Portanto, optou-se por apresentar os métodos que possuem maior potencial de utilização, com bons resultados para aquíferos livres, ressaltando que a seleção do método deve levar em consideração o ajuste na área do estudo, assim como a disponibilidade de dados obtidos a campo de forma calculada ou observada.

2.4.3.1 Aproximação de Darcy's Law

De acordo com a lei de Darcy, a velocidade da percolação da água no solo é proporcional ao gradiente hidráulico por conta da condutividade hidráulica. Diante disso, ela pode ser utilizada para estimar a recarga entre dois piezômetros alinhados em uma perpendicular ao corpo de água, assumindo um fluxo constante de água e sem extração do recurso. (Fórmula 4)

$$R = (-K \cdot i) \cdot \Delta t$$

(4)

Sendo, K a constante de proporcionalidade ou a condutividade hidráulica saturada em $m \cdot s^{-1}$ e i é o gradiente hidráulico, adimensional. Portanto a recarga (R) é representada por q ($m^3 \cdot (s^{-1} \cdot m^{-2})$) que é a velocidade de Darcy representada na multiplicação de $-K$ por i , ainda multiplicado pelo intervalo de tempo entre as medidas consecutivas (Δt).

A recarga estimada se dá a partir do somatório dos valores positivos para cada intervalo de tempo considerado. Além de que a linha perpendicular deve estar alinhada com uma linha equipotencial (MAZIERO, 2005). O método é considerado de fácil aplicação se obtiver dados de confiança da condutividade hidráulica e do gradiente hidráulico, porém segundo SCANLON et al., (2002) as estimativas são altamente imprecisas devido a grande variabilidade da condutividade hidráulica.

2.4.3.2 Método *Water Table Fluctuation* (WTF)

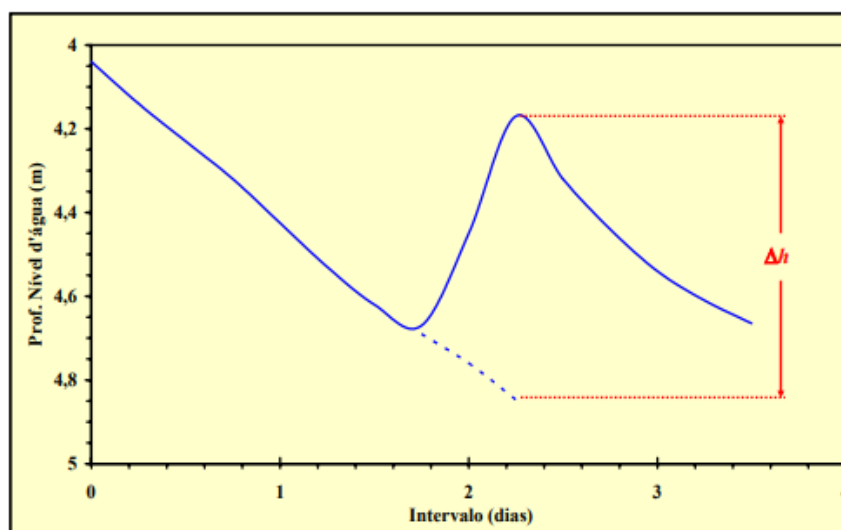
O método WTF fundamenta-se na premissa de que as elevações do nível no aquífero (não- confinado) são devidos a água da recarga subterrânea que chega à superfície do piezômetro.

$$R = S_y \cdot \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (5)$$

Sendo S_y o rendimento específico, h a altura do nível freático, e t o tempo. Desta forma, a equação assume que a água que atinge o nível do lençol freático entra, imediatamente, no armazenamento. Os outros componentes do balanço hídrico subterrâneo, que são evapotranspiração subterrânea, fluxo de base, entrada e saída de fluxo subsuperficial, tornam-se então nulos durante o período de recarga.

Desta forma, Healy e Cook (2002) definiram que para a aplicação da equação anterior (5), cada elevação individual resultaria numa estimativa de recarga, onde o Δh seria a diferença entre o pico de subida e o ponto mais baixo da curva de recessão antecedente, extrapolada até o pico. A curva de recessão⁴ antecedente que representa, hipoteticamente, a hidrografia se não houvesse a elevação do nível de água (Figura 3). A manipulação da curva de recessão é subjetiva e tenta acomodar a defasagem da precipitação e do início da recarga.

Figura 3 - Elevação hipotética do nível da água em polo em resposta à precipitação.



Fonte: Modificado de Healy e Cook (2002).

O Método WTF é o mais difundido e utilizado para estimativa da recarga (HALL; RISSER, 1993; HEALY; COOK, 2002; PINTO et al., 2011). Este método é utilizado somente

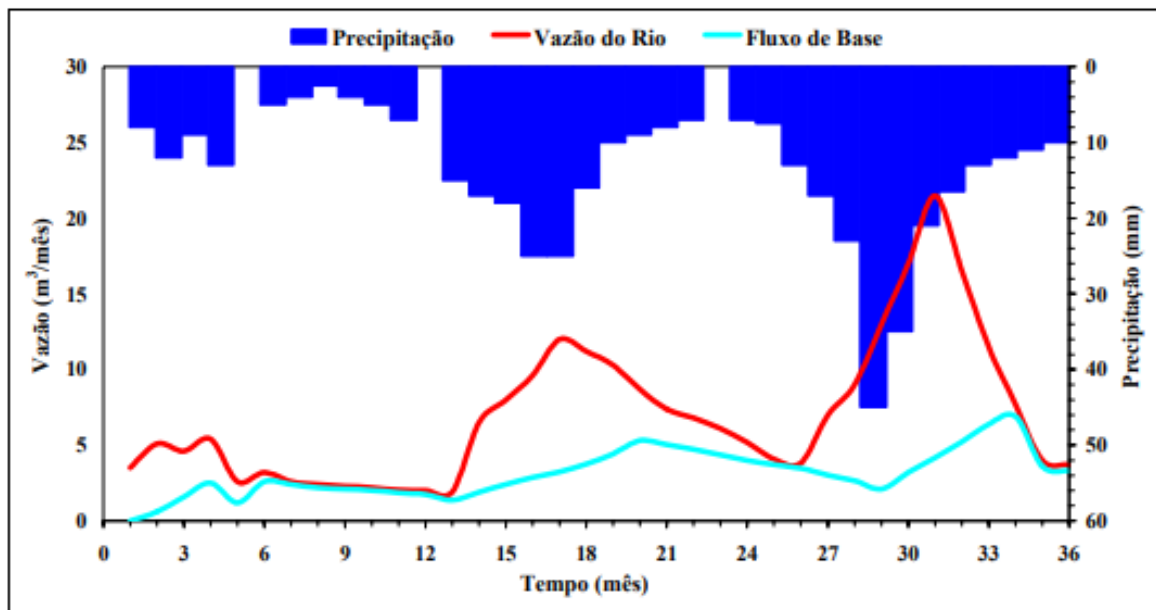
⁴ Curva de recessão: é uma expressão integral das características fisiográficas e climáticas que regem as relações entre precipitação e os tipos de escoamento de uma bacia hidrográfica (Chow, 1959)

em aquíferos não confinados e requer um conhecimento básico dos parâmetros de rendimento específico e variações dos níveis de água em determinado tempo. A principal vantagem é simplicidade e sensibilidade na captação dos movimentos da água na zona não-saturada (HEALY;COOK, 2002).

2.4.3.3 Separação do Fluxo de Base

O escoamento de um rio é separado em escoamento superficial (ou escoamento direto) e escoamento básico (ou fluxo de base). A separação desses fluxos é feita com base na análise da hidrografia ou hidrograma (Figura 4), na qual se distingue a vazão do fluxo de base.

Figura 4 - Separação de escoamento no hidrograma.



Fonte: Maziero (2005).

O fluxo de base, por sua vez, pode ser separado tanto em série horárias, diárias ou mensais e pode ser feita por análise gráfica, deslocamento da curva de recessão, filtros digitais e modelos chuva-vazão.

Porém, as técnicas de separação hidrográfica, quando usadas sozinhas resultam em poucos resultados bons e seguros Halford e Mayer (2000). Por outro lado, Hughes et al. (2003), afirmam a necessidade de mais estudos afim de gerar mais esclarecimentos e refinamento da técnica de separação, aumentando a confiabilidade dos dados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida na Área de Pesquisa de campo do Projeto Fazenda Modelo Flopal, sob número 51617 registrado no GAP-UFSM, no município de Santa Vitória do Palmar - RS, sob coordenada geográfica 32°56'0.66"S e 52°33'42.05"O. Localiza-se entre a Lagoa Mangueira e o Oceano atlântico, fazendo parte da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo (L040), na unidade de paisagem PL2 (ZAS, 2010), com uma extensão de aproximadamente 4 km (Figura 5). O transecto foi alocado de modo a incluir plantio de *Pinus elliottii* próximo ao mar, área de vegetação nativa e plantios próximo da Lagoa Mangueira.

Figura 5 - Localização da área de estudo no estado do Rio Grande do Sul – Brasil.

Mapa de localização da área de estudo



As áreas com *Pinus elliottii* foram plantadas nos anos 1980 (1983 – 1987), com espaçamento de 2,4 x 1,6 m sem adubação, não sendo realizado desbaste e ou desrama. Atualmente existem 1.338 árvores/ha, com diâmetro acima do peito (DAP) médio de 23,1 cm e altura média de 21,2 metros, que correspondem a um volume total de 570,2 m³/ ha⁻¹. Ainda, essa área está sendo resinada a 8 anos, com a abertura de estrias a cada 15 dias e inserido 2g de

pasta estimulante com composição de 18% de ácido sulfúrico, totalizando 325,33 g por árvores de pasta, visto que em 60 dias durante o inverso é paralisado as operações.

A área de abrangência da Lagoa Mangueira representa o maior sistema lagunar retrobarreira do extremo sul da Planície Costeira, formada a partir do Holoceno (5.100 anos A.P) com a elevação do nível do mar, provocando a criação de sistemas de abrasão com barreiras múltiplas complexas, e terraços lagunares nas margens do sistema Patos-Mirim. Passados os anos, até a situação atual, houve o fechamento parcial da abertura da Lagoa do Patos e total da Lagoa Mirim, permitindo a instalação da Lagoa Mangueira (OLIVEIRA, 2014).

Quanto às características climáticas da região, segundo Köppen, é Cfa, resultante em subtropical úmido, oceânico e com verões quentes, que apresenta temperatura do mês mais quente superior a 22° C e a mínima do mês mais frio superior a - 3° C, e a precipitação varia entre 1.300 e 1.600 mm anuais (ALVAREZ et al., 2013).

O solo é classificado como Neossolo Quartzarênico, compostos basicamente por areia, sofrendo variação somente em sua microtopografia, distinguindo-se em solo arenoso bem drenado encontrado em pequenas elevações, e solo arenoso mal drenado, encontrado nas baixadas (EMBRAPA, 2006). Streck et al. (2008) comentam que a região identificada como “Taim” (área do estudo) é classificada no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como um mosaico de Neossolo Quartzarênico Hidromórfico Hístico, sendo ainda mais específico em sua classificação.

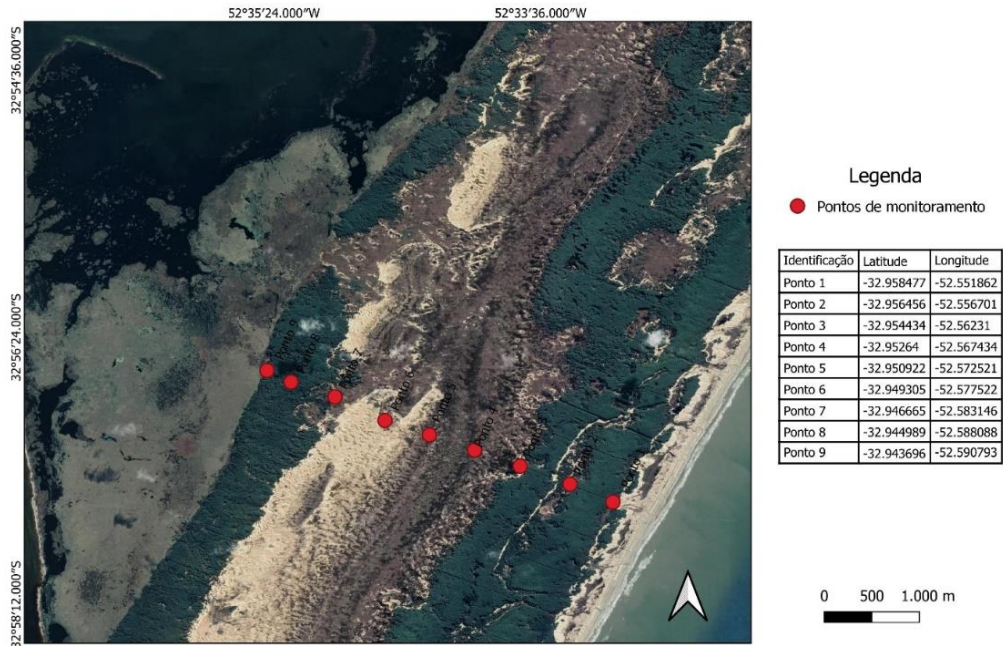
Geralmente, o neossolo quartzarênico está associado a relevos plano ou ondulado suave, com textura arenosa e teor de argila <15% e coloração amarelada abaixo do horizonte A e ligeiramente escura ao longo dos outros horizontes. Possui um perfil do solo longo, ou seja, bastante profundo, não impedindo ou dificultando o desenvolvimento de raízes. Também pode ser subdividido no terceiro nível como Hidromórfico ou Órticos (EMBRAPA, 2009).

3.2 COLETA DE SOLOS

O solo foi coletado em 9 pontos com auxílio de uma retroescavadeira e uma pá de corte. Os pontos 1, 2 e 3 com abrangência da floresta plantada de *Pinus elliottii* (PM) na beira do mar, já as identificadas como 4, 5 e 6 são Vegetação Nativa (VN) composto de dunas e campos arenosos que historicamente eram utilizadas para pastoreio extensivo, e ainda 7,8 e 9 estão próximas a lagoa com uso do solo com *Pinus elliottii* (PL), conforme Figura 6.

Figura 6 - Localização dos pontos de monitoramento da coleta de solo

Mapa de localização dos pontos de coleta de solo



Para a análise física do solo, foram utilizados anéis volumétricos com capacidade de 99,9 cm³ para coleta em cinco profundidades, sendo: 0 - 5 cm (A), 5 - 10 cm (B), 10 - 20 cm (C), 20 - 40 cm (D) e 40 - 100 cm (E), que foram posteriormente acondicionados em isofilme e sacos plásticos para transporte. Já para química do solo, foi coletado aproximadamente 2 kg, porém acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas para análise.

Figura 7 - Abertura da trincheira (A), coleta de amostras química (B) e física (C) do solo na área de estudo, embalagem (D).



3.3 ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO

As análises físicas foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, *Campus* Frederico Westphalen - RS, sendo determinados: densidade do solo pelo método do cilindro volumétrico, volume total de poros pelo método direto, microporosidade e macroporosidade por meio da mesa de tensão (EMBRAPA, 2017).

As análises químicas foram realizadas no laboratório Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, localizado na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões *Campus* Frederico Westphalen, que obedece ao método estabelecido pela Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Utilizando os métodos de Tedesco (1995) foram determinados o percentual

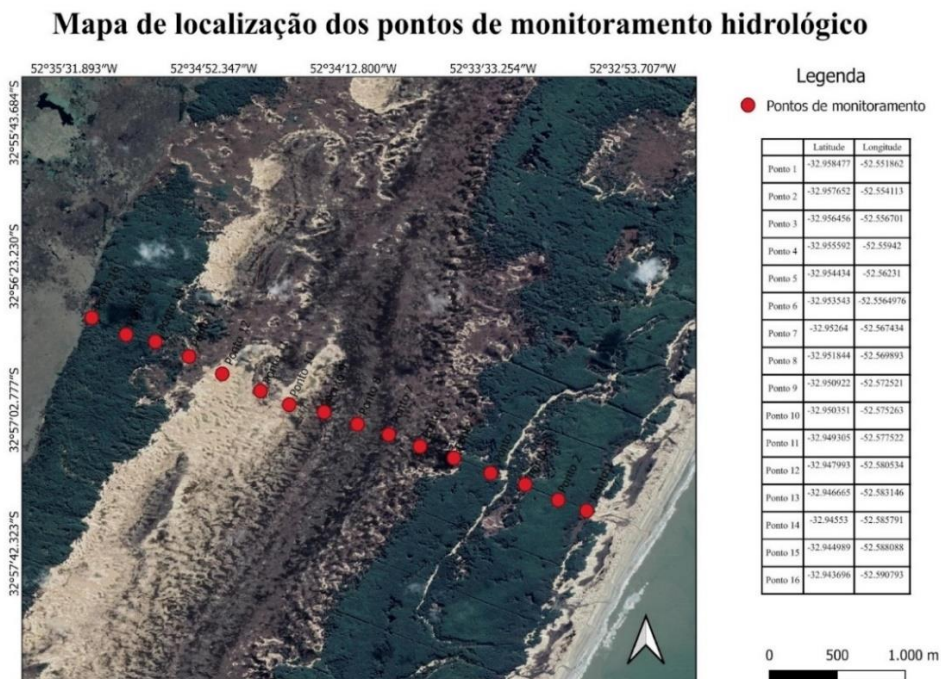
de argila, pH/ H₂O, índice SMP (Solução tampão Santa Maria), fósforo (P), potássio (K), percentual de matéria orgânica (M.O), alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), CTC efetiva e com pH 7,0, hidrogênio e alumínio (H + Al), percentual da saturação da CTC por bases e por alumínio, percentual de saturação de cátions da CTC por potássio, por cálcio e magnésio, enxofre (S), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), manganês (Mn).

3.4 COLETA E ANÁLISE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

3.4.1 Localização e descrição da área dos pontos de coleta

Para a análise de dinâmica da água, foi necessário instrumentalizar o local de estudo, portanto, abertos poços a cada 250 m formando um transecto que parte das proximidades do oceano atlântico e vai até a Lagoa Mangueira, com aproximadamente 4 km. As perfurações foram feitas com auxílio de uma retroescavadeira, e posteriormente, foi instalado dentro um cano PVC de 75 mm de diâmetro com 3 m de comprimento, com tampões nas extremidades e cortes nas laterais para facilitar a entrada de água. Para evitar a entrada de areia os canos foram revestidos de TNT⁵.

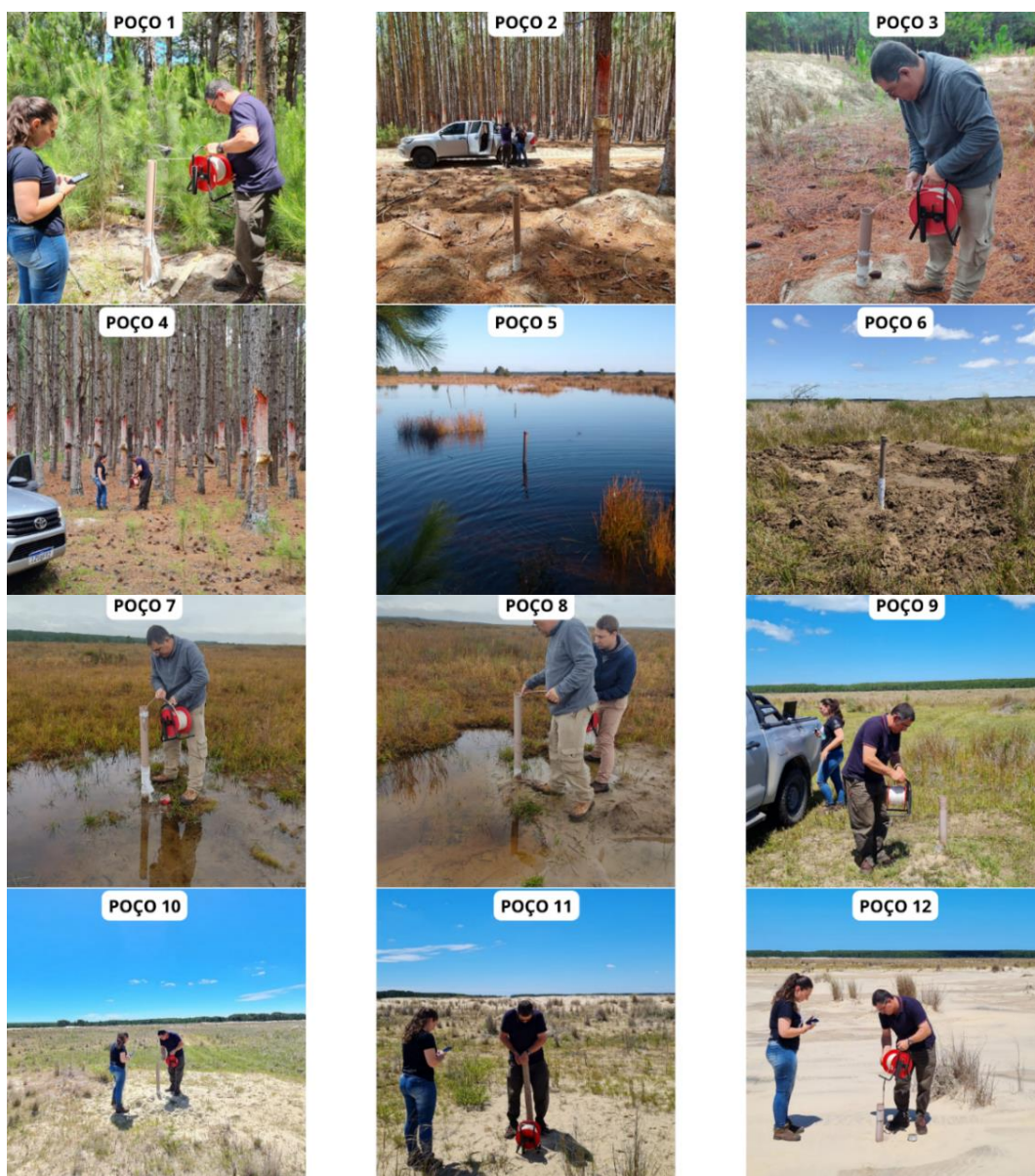
Figura 8 - Mapa de localização dos poços de monitoramento hidrológico



⁵ TNT: Tecido não tecido obtido através de uma liga de fibras e um polímero geralmente polipropileno dispostas aleatoriamente e coladas por calor ou pressão (MÜLLER e SAATHOFF, 2015).

O poço⁶ número um, dentro do segmento da área de estudo está localizado no início do plantio de *Pinus elliottii*, próximo ao Oceano atlântico, seguido dos poços número dois, três, quatro e cinco, também dentro deste plantio. Os poços número seis, sete, oito, nove, dez, onze e doze estão na área de vegetação nativa, ao centro da área de estudo. E o poço doze encontra-se em uma área de dunas. Os poços treze, quatorze, quinze e dezesseis estão novamente sob cobertura da floresta de Pinus.

Figura 9 - Imagem dos poços 1 a 16 em diferentes momentos das coletas de dados



Continua

⁶ Poço: Quando monitorado, torna-se um piezômetro.

Continua



3.4.1.1 Porosidade

Em relação a este parâmetro, segundo Healy e Cook (2002) e Maziero (2005) a macroporosidade pode ser equiparada com o Rendimento Específico (S_y), para o WTF, visto que a precisão da recarga direta está relacionada com a representatividade do seu valor.

A determinação da porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo, foram obtidas por meio das coletas de solo já descritas anteriormente no item 3.2 e 3.3.

3.4.1.2 Rendimento Específico

Para o rendimento específico foi levado em consideração a mesma lógica descrita por Healy e Cook (2002), na qual obtem-se a porosidade (n) com a soma do rendimento específico (S_y) com a retenção específica (S_r), que vem a ser a microporosidade.

3.4.2 Equipamentos utilizados

Dos 16 poços, em quatro deles poço 2, 5, 9 e 14, foram instalados sensores transdutores de pressão da SIGMA SENSORS® modelo U20L-04. Nestes poços a coletas de dados de cota

d'água é feita cada 15 minutos. No restante dos poços o monitoramento foi mensal com auxílio de um Medidor de nível de água da Solinst® que gera o valor da cota de água instantânea.

O funcionamento dos equipamentos transdutores de pressão se dá de forma simples. Ele detecta a pressão da coluna d'água acima dele, juntamente com a pressão atmosférica com 0,1% F.S de precisão, sendo que 1 kgf/cm² é a pressão exercida por uma coluna com 10 metros de altura. Ou seja, 10 metros de coluna d'água (m.c.a.), ou 100.000 Pa. Dessa forma, com os valores registrados no Data Logger, descontado a pressão atmosférica da estação meteorológica, há a obtenção da cota de água, dada em centímetro (cm).

Figura 10 - Sensor transdutor de pressão, Base leitora de dados para Data Loggers Onset e Medidor de nível



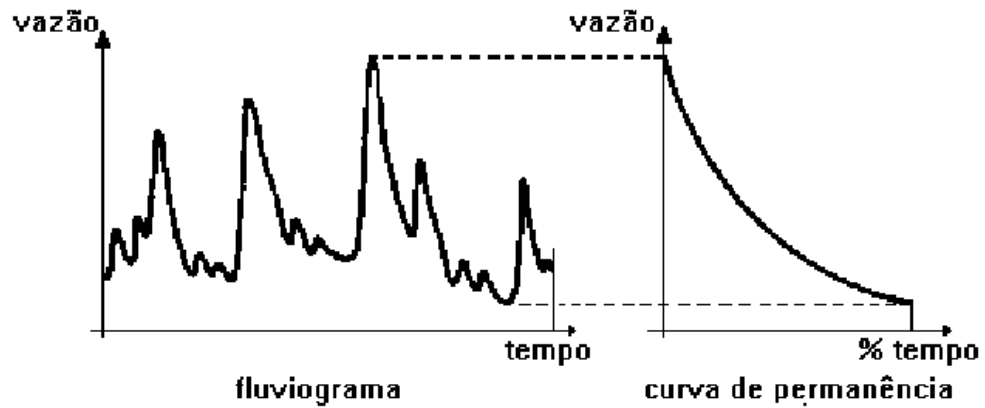
Fonte: Sigma Sensors® e Solinst ®

3.4.3 Curva de Permanência

Pode ser definida pela magnitude e frequência de vazões, com períodos diários, semanais e mensais, geralmente. Como resultado são obtidas estimativas da vazão pelo período de tempo, podendo ser feito uma relação de igualdade dos resultados por um determinado período histórico da bacia hidrográfica (PEREIRA, 2012).

Para Tucci (2009), a curva de permanência é a relação ente o nível de um rio e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores, ou até mesmo iguais, com as encontradas durante o estudo. A partir destes resultados pode-se estimar e avaliar a qualidade da água na bacia hidrográfica.

Figura 11 - Representação do Fluviograma e a curva de permanência



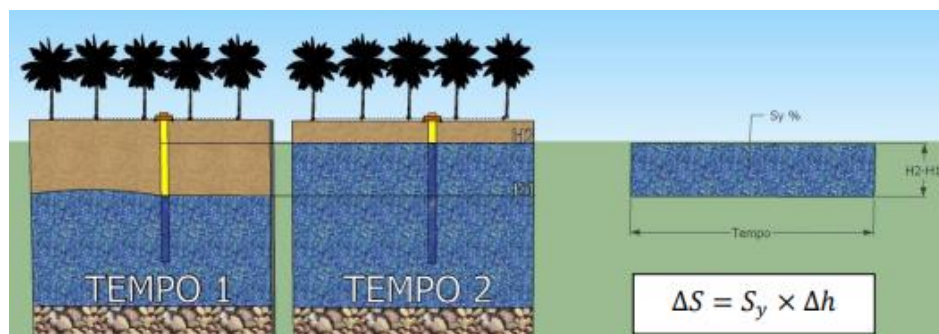
Fonte: Quimpo e McNally (1983).

3.4.4 Avaliação de recarga pelo método WTF

A variação no armazenamento de um aquífero livre, representa a variação do nível quando há uma mudança de valores em relação aos dois pontos. Com isso, essa estimativa pode ser realizada com base na análise temporal da série de dados do nível subterrâneo e a macroporosidade.

Através da variação temporal do nível do aquífero, multiplica-se o valor da variação (Δh) pelo coeficiente de rendimento específico (S_y), resultando na variação do armazenamento (ΔS), conforme pode ser observado na Figura 12:

Figura 12 - Esquema ilustrativa da recarga subterrânea



Fonte: Baumhardt (2013).

Os valores da variação do armazenamento foram monitorados nos poços 2, 5, 9 e 14 e utilizados para o cálculo da recarga.

A avaliação da recarga foi realizada pelo método WTF, de Healy e Cook (2002), que analisa a variação do nível dos poços e faz a extrapolação das curvas de recessão do nível do aquífero, quando há precipitação. A curva de recessão antecedente, foi extrapolada por processo subjetivo, com base nos dados apresentados para cada processo de recarga.

Os valores de recarga (R) foram calculados individualmente para cada piezômetro do seguinte modo:

$$R = S_y \cdot \frac{\sum \Delta h}{\Delta t}, \quad (6)$$

Onde Δt representa o período de 316 dias.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, A. C. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s.l.], v. 22, n. 6, p.711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart.
<http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANTONANGELO, A.; BACHA, C. J. C. As fases da silvicultura no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**. Rio de Janeiro, n. 52, p. 207-238, 1998.
- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). Methods for assessing soil quality. **Madison: Soil Science Society of America**, 1996. p.123-141. (SSSA special publication, 49)
- ARRARTE, C. Plantaciones Forestales e impactos sobre el ciclo del agua. Un análisis a partir del desarrollo de las plantaciones forestales en Uruguay, Montevideo, 56 p. 2007.
- AZEVEDO, G. M. Campos da região litorânea sul do Bioma Pampa. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, e24791210985, 2020.
- BARRETO, A. C. et al. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. *Caatinga*, Mossoró, v. 19, n. 4, p. 415-425, 2006.
- BASKIN Y. A plague of rats and rubbervines: The growing threat of species invasions. **Shearwater Books/Island Press**, Washington, D.C., 385 p, 2002.
- BAUMHARDT, E. **Hidrologia de bacia de cabeceira com eucaliptocultura e campo nativo na região da campanha gaúcha**. Tese doutorado (Doutorado em Engenharia Florestal). Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2014.
- BENCKE, G. A., CHOMENKO, L., SANT'ANNA, D. M. O Pampa visto sob diferentes olhares. **Nosso Pampa desconhecido**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, p. 17-27.2016.
- BOLDRINI, I.I, 2009. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. p 63-77. IN PILLAR ,V. P; MULLER, S.C; CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. (EDS): Campos Sulinos: Conservação e uso do sustentável da biodiversidade. Brasília Ministério do meio ambiente.
- BOLDRINI, I.I.; LONGHI- WAGNER, H.M. Poaceae no Rio Grande do Sul: diversidade, importância na fisionomia e conservação. In: Botânica do Cone Sur, Ciência e Ambiente, Vol. 42, p. 71-92.
- BRAIDA, J.A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A. & REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: FILHO, O.K.et al. (Org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.VII, p.222-227, 2011.
- BRASIL. Constituição (1966). Lei nº 5.106, de 02 de setembro de 1966. Dispõe sobre os incentivos fiscais concedidos a empreendimentos florestais. Brasília, DF, 02 set. 1966.
- BRASIL. **Lei n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o

inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei n. 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n. 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União. Brasília, 1997. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/Institucional/Legislacao/leis/lei9433.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2021.

BRASIL/IBGE. (2006). **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**. Censo agropecuário 2006. IBGE. Recuperado de: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>.

BRASIL/MMA. (2007). Ministério do Meio Ambiente (MMA). Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: **Atualização - Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas.

CHOW, V. T. **Open channel hydraulics**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 1959. 680p.

CUNHA, E.Q. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012.

DEXTER, A.R. Soil physical quality. Part I. **Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth**. *Geoderma*, 120:201-214, 2004.

EMBRAPA. 2006. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA (ed.). Rio de Janeiro, 2ed., 306 p.

EMBRAPA. 2009. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA. Rio de Janeiro.

EMBRAPA. 2017. **Manual de métodos de análise de solo**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA. 3ª Ed. Brasília, Distrito Federal, 2017.

FETTER, C.W. **Applied Hydrogeology**. Macmillan: New York, 3rd ed., 691 pp, 1994.

FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. **Groundwater**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 604p, 1979.

GARCIA E. **Subsídios à conservação de campos no norte da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil**. Tese de doutorado, PPG Botânica, UFRGS, Porto Alegre, p. 110. 2005.

GIANUCA, K. S. **Aspectos sócio econômicos e ambientais da exploração de Pinus sp. no município de São José do Norte e análise das alterações na paisagem em áreas adjacentes aos plantios na região do Estreito entre os anos 1964 e 2007**. Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande, RS. 152 p. 2009.

GONÇALVES, J.L.M. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p.1-46.

- GUADAGNIN, D. L. Árvores e arbustos exóticos invasores no Pampa: questões ecológicas, culturais e sócio-econômicas de um desafio crescente. **Campos Sulinos: Conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. 300- 313 p.
- HALFORD, K.J.; MAYER, G.C. (2000). Problems associated with estimating ground water discharge and recharge from stream-discharge records. *Ground Water*, 38(3), pp.331-342.
- HALL, D.W.; RISSER, D.W. (1993). Effects of agricultural nutrient management on nitrogen fate and transport in Lancaster county, Pennsylvania. *Water Resources*, 29, p. 55–76
- HEALY, R.W.; COOK, P.G. Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal*, 10, p. 91-109, 2002. DOI 10.1007/s10040-001-0178-0.
- HEATH, R.C. Hidrologia básica de água subterrânea. Geological United States Geological Survey Water Supply Paper 2220. 1983, 84 p.
- HILLEL, D. Solo e água: fenômenos e princípios físicos. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970. 231p.
- HUGHES, D.A.; HANNART, P.; WATKINS, D. (2003). Continuous baseflow separation from time series of daily and monthly streamflow data. *Water AS*, 29 (1), 43-48.
- IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (Brasil) (Org.). **RELATÓRIO 2020**. Brasília, 2020. 37 p.
- IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (Brasil) (Org.). **RELATÓRIO 2021**. Brasília, 2021. 121 p.
- Instituto Orus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental. **Base de dados sobre espécies exóticas invasoras**. Disponível em <http://i3n.institutohorus.org.br> acesso em 20 de fevereiro de 2022.
- JOBAGY E.G. & JACKSON R.B. 2007. Groundwater and soil chemical changes under phreatophytic tree plantations. **Journal of Geophysical Research** 112: 1-15.
- LITTLE Jr., Elbert L.; DORMAN, Keith W. **Slash Pine (Pinus elliottii) including South Florida Slash Pine: Nomenclature and Description**. Asheville, North Carolina: U. S. Department Of Agriculture - Forest Service, 1954. 86 p.
- LEITE, D. R. A. **ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB SISTEMAS AGROFLORESTAIS BIODIVERSOS**. Dissertação de mestrado. Jataí, Goiás, 2017.
- LERNER, D.N.; ISSAR, A.; SIMMERS, I. Groundwater recharge; a guide to understanding and estimating natural recharge. **International Contributions to Hydrogeology**, v.8. Hannover, Germany, 345 pp, 1990.
- LERNER, D.N.. Groundwater recharge in urban areas. **Atmos. Environment**, 24 B (1), p. 29-33, 1990.

LOHREY R.E., KOSSUTH S.V. *Pinus elliottii* (Engelm.) Silvics of North America, Conifers, **Agriculture Handbook** n. 654, Vol. 1, United States Forest Service, pp. 338-347. 1990.

MATEUS, Ricardo; PADILHA, Damáris. Avaliação multicritério da fragilidade do território no Brasil. A silvicultura no Estado do Rio Grande do Sul. **Finisterra**, [s.l.], v. 52, n. 104, p.73-104, 28 abr. 2017. Centro de Estudos Geográficos (IGOT) Universidade de Lisboa. <http://dx.doi.org/10.18055/finis6971>.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das gimnospermas**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1996. 158 p.

MAZIERO, T. A.; **Monitoramento de água subterrânea em área urbana: aspectos quantitativos**. Dissertação de mestrado. São Carlos, SHS- EESC- USP, 2005.

MELLO, F. A .F. et al. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.

MENEZES, J. P. C. **Influência do uso e ocupação da terra na qualidade da água subterrânea e sua adequação para consumo humano e uso na agricultura**. Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo, ES. 84 p. 2012.

MOZART, M.F. Caracterização física do solo. IN: JONG van LIER, Q., (Ed) **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. P.1-24.

MÜLLER, W. W.; SAATHOFF, F. Geosynthetics in geoenvironmental engineering. *Sci Technol Adv Mater*. 2015 Jun; 16(3): 034605. Published online 2015 May 8. doi: 10.1088/1468-6996/16/3/034605

OLIVEIRA, O. A. **Os povos caçadores e coletores que habitaram as margens da lagoa mirim**. Tese Doutorado. PPG História. São Leopoldo, Rio Grande do sul, 2014.

PEÑA, E.; HIDALGO, M.; LANGDON, B.; PAUCHARD, A.; Patterns of spread of *Pinus contorta* Dougl. ex Loud. invasion in a Natural Reserve in southern South America. **Forest Ecology and Management** 256 (2008) 1049–1054.

PEREIRA, L. C. **Uso e conservação de nascentes em assentamentos rurais**. 2012. p. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

PEREIRA, V. C. Elementos para pensar a contribuição do Desenvolvimento Rural para conservação do bioma Pampa. **Mundo Agrario**, La Plata -Argentina, v. 15, n. 28, p.1-27, abr. 2014.

PESAVENTO, S. J. (1994). **História do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Mercado Aberto.

PILLAR V.D. QUADROS F.L.F. **Grassland-forest boundaries in southern Brazil**. *Coenoses* 12: 301-316p. 1997

PILLAR, V de P; LANGE, O. **Os campos do sul**. Rede campos Sulinos – UFRGS, Porto Alegre- RS, 2015.13-167 p. 2015.

PILLAR, V de P. et al. **Campos Sulinos: Conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. 403 p.

QUIMPO, R. G.; McNALLY, T. A. **Regionalized flow duration for Philippines**. In: Journal of Water Resources Planning and Management. v. 109, n. 04, p. 320-330, 1983.

REBOUÇAS, A. C. **Recursos hídricos subterrâneos da bacia do Paraná: análise de pré- viabilidade**. São Paulo, 1976, 143p. Tese (Livre-Docência) Universidade de São Paulo, 1976.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. **Compactação do solo: Causas e efeitos**. Semina, v.26, p.321-344, 2005.

ROESCH, L. F. W; VIEIRA, F. C. B. V; PEREIRA, V. A; SCHÜNEMANN, A. L; TEIXEIRA, I. F; SENNA, A. J. T; STEFENON, V. M. The Brazilian Pampa: A Fragile Biome. **Journal Diversity** 2009, 1, 182-198; doi:10.3390/d1020182.

RUSHTON, K.; WARD, R.C. The estimation of groundwater recharge. **Journal of Hydrology**, 41, p. 345-362, 1979.

SANTOS, C. M. (1984). **Economia e sociedade do Rio Grande do Sul: século XVIII**. São Paulo: Nacional.

SCANLON, B.R.; HEALY, R.W.; COOK, P.G. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. **Hydrogeology Journal**, 10, (2002). p. 18- 39. DOI 10.1007/s10040-0010176-2.

SECCO, D. et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 797-804, 2004.

SEIXAS, F; OLIVEIRA JÚNIOR, E. D.; SOUZA, C. R. Efeito da camada de resíduos florestais na compactação do solo causada pelo transporte primário de madeira. **Scientia Florestalis**, Viçosa, n. 54, p. 9-16, dez, 1998.

SHIMIZU, J. Y.; SEBBENN, A.M. **Pinus na Silvicultura Brasileira: Espécie de Pinus na silvicultuta brasileira**. Embrapa Florestas Colombo, PR. p 49 -79, 2008.

SHIMIZU, J. Y. **Pinus na Silvicultura brasileira**. Embrapa Florestas, Colombo - PR, 223 p. 2008. ISBN 978-85-89281-26-3.

SHIMIZU, Jarbas et al. Esforço cooperativo para suporte à silvicultura de pinus no Brasil. **Anais: IV Encontro Brasileiro de Silvicultura**, Ribeirão Preto, v. 1, n. 1, p.209-211, abr. 2018.

STRECK, E. V., KÄMPF, N., DALMOLIN, R. S. D., KLAMT, E., NASCIMENTO, P. D., SCHNEIDER, P., & PINTO, L. F. S. (2008). **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS: EMATER/RSASCAR.

TEDESCO, M, J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C, A.; BOHNEN, H; VOLKWEISS, S, J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS/ Departamento de solos, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.

TUCCI, C. E. M. et al. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4ª ed. 1ª reimp. – Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009.

VASQUES, A. G. et al. UMA SÍNTESE DA CONTRIBUIÇÃO DO GÊNERO *Pinus* PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO SUL DO BRASIL. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, set./dez. 2007

XU, Y.; BEEKMAN, H.E (Eds). **Groundwater recharge estimation in Southern Africa**. UNESCO IHP Series nº 64, UNESCO, Paris, 2003. ISBN 92-9220-000-3.

ZAS (ZONEAMENTO AMBIENTAL DA SILVICULTURA). Diretrizes da silvicultura por unidade de paisagem e bacia hidrográfica. Governo do estado do Rio Grande do Sul. **Secretaria do meio ambiente**. Volume II, março de 2010.

ZILLER, S. R; GALVÃO, F. Degradation of grassy-woody steppe in Paraná by biological contamination of *Pinus elliotti* E. and *Pinus taeda*. **Floresta**, Curitiba Paraná, v. 32, n. 1, p.41-47, 2002.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

ARTIGO A: SILVICULTURA DE *PINUS ELLIOTTII* ENGELM NA PLANÍCIE COSTEIRA: EFEITO NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO.

RESUMO

Mudanças no uso e ocupação do solo podem ocasionar alterações em seus atributos físicos e químicos, especialmente na conversão para monoculturas. A partir disso, presente esse trabalho objetiva compreender os efeitos da implantação de silvicultura de *Pinus elliottii* Engelm com 36 anos de idade nos atributos físicos e químicos do solo em comparação com áreas sob cobertura de vegetação nativa na Planície Litorânea do RS. A área de estudo localiza-se no município de Santa Vitória do Palmar -RS e o solo é classificado como Neossolo Quartzarênico Hidromórfico Hístico. O experimento foi concebido com Delineamento Inteiramente Casualizado, bifatorial de 3x5, sendo: três locais: Pinus Mar, Vegetação Nativa e Pinus Lagoa; cinco profundidades (0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-100 cm, com três repetições). Os atributos físicos do solo analisados foram: densidade, volume total de poros, percentual de argila, microporosidade e macroporosidade. Os atributos químicos foram: pH/ H₂O, P, K, M.O, Al, Ca, Mg, CTC efetiva e com pH 7,0, H + Al, percentual da CTC por bases e por AL, percentual de saturação de cátions da CTC por potássio, por Ca e Mg, S, Zn, Cu, B e Mn. Houve diferenciação estatística em relação a Ma e Mi do solo em relação, com maiores resultados para PE e PL (0,33 a 0,37 m³ m³) em comparação a VN (0,29 a 0,34 m³ m³). Para os atributos químicos do solo foram encontradas diferenças significativas (Anova 5%) quanto ao uso do solo para o pH obteve maiores valores para VN (média 5,31) e menores para PM (média 4,86) e PL (4,65). Os resultados obtidos demonstram que a silvicultura com *Pinus elliottii* gerou alguns efeitos positivos e até não significativos tanto em PM quanto PL em comparação com VN.

Palavras-chave: Atributos Físicos. Atributos Químicos. Neossolo Quartzarênico. Pinus.

A.1 INTRODUÇÃO

O solo é uma camada superficial da crosta terrestre, formada por diversos minerais e materiais orgânicos, que propiciam o crescimento e desenvolvimento de plantas, além disso, fornecem água, ar e nutrientes, exercendo as funções de estabilidade e mobilidade desses componentes (JOSE, 1994). Como recurso natural, o solo pode ser usado de diversas formas convencionais de exploração como pastejo, agricultura, silvicultura, urbanização e dentre outros, que são suscetíveis a serem degradados pelo uso antrópico inadequado. Essa ação interfere diretamente nas funções do solo, acarretando o desequilíbrio ambiental para todas as formas de vida (BRADY;WEIL, 2013).

Na silvicultura do gênero *Pinus*, geralmente, o impacto no solo está relacionado a intervenções dentro do plantio, ou seja, o manejo que é realizado desde sua implantação até a colheita final com maquinário pesado, de ações de contravenção para escoamento da água, manutenção do plantio com desrama e desbaste, cujos tipos de alterações estão correlacionados com o tipo do solo (DEDECEK;GAVA, 2005). Estes potenciais impactos resultam em preocupações ambientais e sobre a capacidade de produção de forma sustentável. Porém, quantificar a qualidade do solo é extremamente difícil, pois está estreitamente ligada com propriedades particulares (química, física e biológica) e interações do ecossistema, e a prioridade de uso, relacionadas com aspectos socioeconômico e político (OVERBECK et al., 2015).

Alguns autores descrevem a ação dos plantios de *Pinus* em relação aos atributos do solo, como Neves et al. (2007) que afirmam que os solos sob vegetação nativa têm os atributos físicos considerados adequados, posteriormente quando há entrada de nova cultura, fica suscetível a alterações. Ainda, Ferreira et al. (2004) e Silva et al. (2009) descrevem que o *Pinus* geralmente ocasiona redução da fertilidade do ambiente, por conta da dificuldade de decomposição da biomassa da serrapilheira, além de acidificação do solo.

Os estudos científicos do solo, propiciam a ilustração da importância do mesmo para as mais diversas utilidades do solo e ainda, garantir sua proteção e conservação. Por isso, a comparação de parâmetros físicos e químicos do solo, com áreas de produção de *Pinus* e áreas destinadas à conservação, podem auxiliar na interpretação das condições encontradas no local, subsidiando ainda mais estudos sobre essa relação.

O objetivo desse trabalho é analisar os efeitos da implantação de silvicultura de *Pinus elliottii* Engelm com 36 anos de idade nos atributos físicos e químicos do solo em comparação com áreas sob cobertura de vegetação nativa na Planície Litorânea do RS, domínio do Bioma Pampa.

A.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na Área de Pesquisa de Campo do Projeto Fazenda Modelo Flopal (Registro nº 51617/GAP-UFSM-FW), situada no município de Santa Vitória do Palmar, Rio Grande do Sul, Brasil, sob coordenadas geográficas 32°56'0.66"S e 52°33'42.05"O. A Área encontra-se numa faixa de terras entre o Oceano Atlântico (a leste) e a Lagoa Mangueira (a oeste).

A vegetação na área costeira apresenta espécies típicas de campo com predomínio de prostradas, estoloníferas ou rizomatosas, com cobertura parcial ou total do solo, resultando em pouca exposição a eventos de intempéries em alguns locais (PILLAR, 2015).

Os plantios de *Pinus elliottii* Engelm, foram implantados na década de 80 (1983-1987), com espaçamento de 2,4 m x 1,6 m (± 2.600 plantas por hectare), sem adubação de plantio ou cobertura e intervenções no plantio como desbaste e desrama. Com base nos dados de inventário da empresa, atualmente (2022) os plantios apresentaram 1.338 árvores por hectare, com Diâmetro a Altura do Peito (DAP) médio de 23,1 cm e Altura Total média de 21,2 m, o que corresponde a um volume total estimado de 570,2 m³.ha⁻¹. Ainda, a área é resinada desde 2015, com auxílio da pasta estimulante com 18% de ácido sulfúrico.

O estudo foi implementado sobre um Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2013), com clima tipo “Cfa” Clima subtropical úmido, oceânico com presença de verões quentes e precipitação média anual de 1450 mm e temperatura variando de 16° C a 18° C, com mínima de $\geq -3^{\circ}$ C e máxima de $\geq 22^{\circ}$ C.

O experimento fundamentou-se na coleta de amostras em 9 pontos, com distância de 500 m entre si, em um transecto entre o Oceano Atlântico e a Lagoa Mangureira. Os Pontos P1, P2 e P3 foram implantados em talhões de *Pinus elliottii* próximo do mar (PM), os Pontos P4, P5 e P6 estão em área de Vegetação Nativa (VN) e os P7, P8 e P9 em talhões de *Pinus elliottii* próximos à Lagoa Mangureira (PL). Nestes pontos foram escavadas trincheiras e o solo foi coletado em cinco profundidades, sendo: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm (30 cm) e 40-100 cm (70 cm). Para a coleta das amostras indeformadas foram utilizados anéis volumétricos de 99,9 cm³ que, após a coleta, foram acondicionados em isofilme e sacos plásticos identificados e encaminhados ao laboratório (Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, *Campus* Frederico Westphalen). A determinação da densidade pelo método do cilindro volumétrico, volume total de poros com o método direto, microporosidade com auxílio da mesa de tensão e macroporosidade seguiram o Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (EMBRAPA, 2017).

Para as análises químicas foram coletadas amostras deformadas de 2,0kg, aproximadamente, acondicionadas em sacos plásticos esterilizados. As análises foram feitas no laboratório Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, localizado na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões *campus* Frederico Westphalen, pelo método descrito por Tedesco et al. (1995). Desta forma foi determinado o percentual de argila, pH/ H₂O, fósforo (P), potássio (K), percentual de matéria orgânica (M.O), alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), CTC

efetiva e com pH 7,0, hidrogênio e alumínio (H + Al), percentual da saturação da CTC por bases (V%) e por alumínio, Enxofre (S), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Boro (B) e Manganês (Mn).

Para a análise estatística foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), disposto em esquema bifatorial de 3 (usos do solo) x 5 (profundidades), com três repetições. Foi calculada a Análise de Variância (ANOVA) para o DIC e o teste de comparação de médias utilizando Tukey a 5% de probabilidade.

A.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Densidade (Ds) com valores de 1,36 a 1,59 g.cm⁻³ e Volume Porosidade Total (VPT) de 0,41 a 0,46 % apresentaram um coeficiente de variação de 6,65 % e 6,1 % respectivamente, e os resíduos considerados dentro da normalidade segundo o teste de Shapiro-Wilk com 5% de significância. Estes resultados estão dentro do aceitável para solos arenosos, alegando que o máximo de densidade seria 1,75 kg. dm⁻³ para atingir os níveis críticos de desenvolvimento de raízes (CORSINI; FERRAUDO, 1999). Além disso, a variável VPT apresentou valores semelhantes ao de Carvalho et al., (2015), para Neossolo Quartzarênico com uso do solo para Vegetação Nativa, Pastagem extensiva e Plantio de Eucalipto, responsáveis pela menor intervenção nos locais.

A Microporosidade (Mi) e Macroporosidade (Ma) apresentaram o coeficiente de variação baixo, sendo respectivamente 18,67% e 8,37%. No teste de resíduos de Shapiro-Wilk dentro dos 5% de significância foram considerados normais. Diferenciam-se em relação ao local e as profundidades conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) de uma área de Pinus próximo ao Mar, área de campo nativo e área de Pinus próximo a Lagoa

Profundidade (cm)	Ds (g cm ⁻³)	VTP ----- (m ³ m ⁻³) -----	Ma	Mi
Pinus Mar				
0-5	1,36**	0,45**	0,37ABa	0,10ABab
5-10	1,49**	0,42**	0,33ABab	0,09ABb
10-20	1,47**	0,42**	0,33ABab	0,09ABb
20-40	1,50**	0,43**	0,33ABab	0,10ABab

40-100	1,50**	0,45**	0,32ABb	0,13ABa
--------	--------	--------	---------	---------

Continua ...

Continua ...

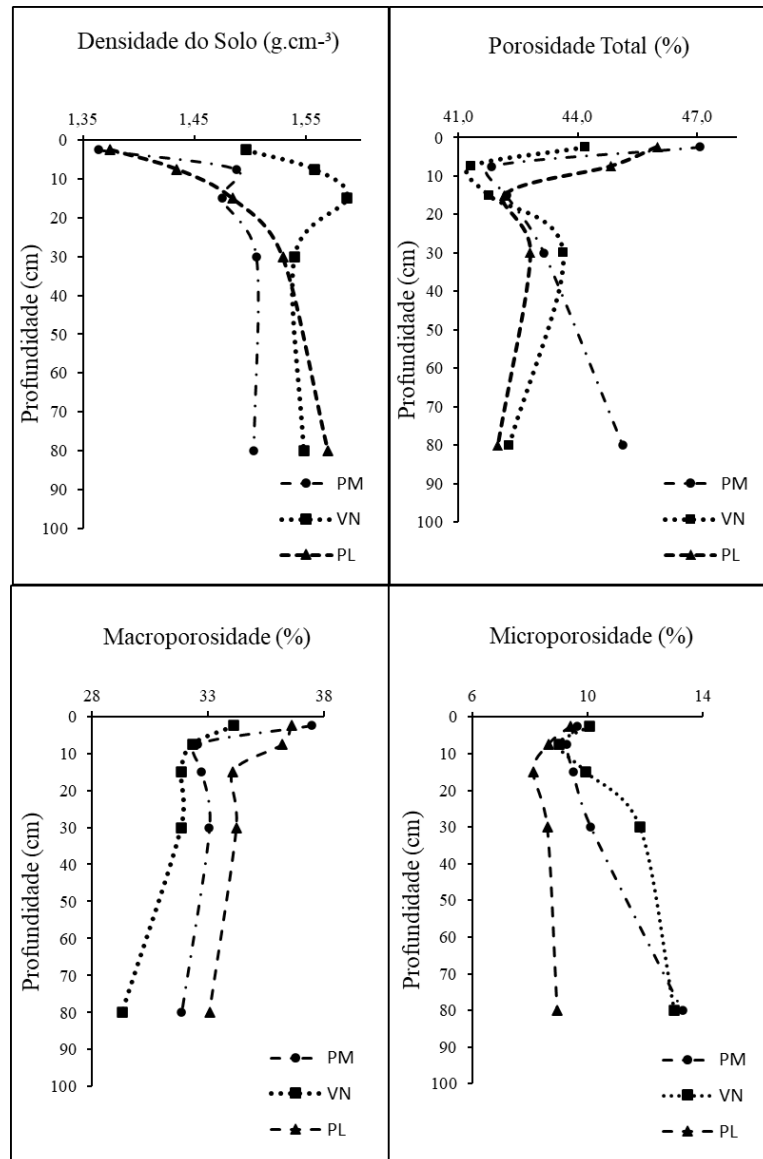
Profundidade (cm)	Ds (g cm ⁻³)	VTP -----	Ma (m ³ m ⁻³)	Mi -----
Campo Nativo				
0-5	1,50**	0,44**	0,34Ba	0,10Aab
5-10	1,56**	0,41**	0,32Bab	0,09Ab
10-20	1,59**	0,42**	0,32Bab	0,10Ab
20-40	1,54**	0,44**	0,32Bab	0,12Aab
40-100	1,55**	0,42**	0,29Bb	0,12Aa
Pinus Lagoa				
0-5	1,37**	0,46**	0,37Aa	0,09Bab
5-10	1,43**	0,45**	0,36Aab	0,09Bb
10-20	1,48**	0,42**	0,34Aab	0,08Bb
20-40	1,53**	0,43**	0,34Aab	0,09Bab
40-100	1,57**	0,42**	0,33Ab	0,09Ba

(*)Médias não diferiam entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas representam Local e minúscula a Profundidade.

Considerando o uso do solo com VN como testemunha do experimento, os tratamentos com PM e PL apresentaram valores maiores para Ma e menores para Mi. Estes atributos são indicadores para a compactação de solos. Assim, estes resultados demonstram que não houve compactação do solo, ao contrário, a área sob silvicultura melhorou a Ma que, entre outros fatores, aumenta a capacidade de retenção da água disponível para as plantas.

Este resultado difere de outros estudos em Neossolo Quartzarênico (MARCATTO et al., 2017; RAMOS et al., 2020), e podem ser explicados pela idade do plantio e pela reduzida intervenção nas árvores durante o cultivo (PRITCHETT; FISHER, 1987; ABRÃO et al., 2015). De fato, a silvicultura de *P. elliottii* na área de estudo está com 36 anos de idade, e durante este período não foi realizado nenhum desbaste (seletivo ou sistemático) das árvores.

Figura 01- Distribuição dos atributos Físicos em relação a profundidade do solo e localização



Na avaliação química houve interação significativa somente para o atributo MO e diferenciação significativa, segundo Tukey (5 %) para o Local nos atributos pH, MO, P, CTC_{EF}, Al, Ca, V%, SAT Al e Z, já para Profundidade foram MO, S e Mn. Nos demais atributos não houve diferenciação entre as médias, consideradas iguais pelo teste F, conforme pode ser observado nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Argila, pH, Matéria Orgânica (MO), Fósforo (P), Potássio (K), Alumínio (Al), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Alumínio Trocável (Al + H), sob diferentes tipos de uso do solo.

Profundidade (cm)	Argila (%)	pH (H ₂ O)	MO (%)	P ----(mg/dm ³)----	K	Al ----- (cmolc/dm ³)-----	CA	Mg	Al +H
Pinus Mar									
0-5	4,00**	4,60 B*	0,47 A*	11,93 A*	17,17**	0,43 A*	0,20 AB*	0,27 **	1,63**
5-10	4,00**	4,93 B*	0,20**	12,10 A*	11,83**	0,47 A*	0,13 AB*	0,10 **	1,53**
10-20	4,00**	4,67 B*	0,20**	13,67 A*	12,17**	0,47 A*	0,13 AB*	0,13 **	1,70**
20-40	4,00**	4,97 B*	0,20**	15,33 A*	13,50**	0,40 A*	0,13 AB*	0,10 **	1,60**
40-100	4,00**	5,17 B*	0,43 A*	23,43 A*	11,33**	0,37 A*	0,23 AB*	0,10 **	1,87**
Vegetação Nativa									
0 -5	4,00**	5,33 A*	0,20 B*	12,33 A*	14,00**	0,10 B*	0,17 A*	0,13 **	1,47**
5-10	4,00**	5,30 A*	0,23**	10,97 A*	13,50**	0,20 B*	0,13 A*	0,10 **	1,47**
10-20	4,00**	5,20 A*	0,13**	12,50 A*	13,33**	0,20 B*	0,13 A*	0,10 **	1,40**
20-40	4,00**	5,33 A*	0,13**	14,33 A*	14,00**	0,17 B*	0,17 A*	0,10 **	1,33**
40-100	4,00**	5,43 A*	0,40 A*	17,33 A*	16,00**	0,23 B*	0,25 A*	0,17 **	2,17**
Pinus Lagoa									
0-5	4,00**	4,63 B*	0,47 Aa	8,57 B*	18,50**	0,57 A*	0,13 B*	0,10 **	1,77**
5-10	4,00**	4,57 B*	0,30*ab	7,87 B*	12,00**	0,63 A*	0,10 B*	0,10 **	1,10**
10-20	4,00**	4,57 B*	0,30*ab	7,90 B*	10,33**	0,63 A*	0,10 B*	0,10 **	1,83**
20-40	4,00**	4,73 B*	0,13 Bb	10,33 B*	10,00**	0,57 A*	0,10 B*	0,10 **	1,67**
40-100	4,00**	4,77 B*	0,10 Bb	11,83 B*	9,67**	0,53 A*	0,10 B*	0,10 **	1,60**

(*)Médias, não diferiram entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas representam Local e minúscula a Profundidade.

A variabilidade do Cu e Teor de argila foi nula, pois apresentavam os mesmos valores para todas as análises. No pH foi considerada baixa, com CV de 6,58%. Para o enxofre, CTC_{pH}, P, SAT Al, V%, Al+H e CTC_{EF} são considerados médios a altos, variando de 14,41 % a 28,64 %. Já para K, Mn, Al, Ca, MO, Z, Mg e B os valores de CV foram muito altos (30 a 60%),

entre 37,27 % e 50,55 %. Segundo Arthur et al. (2014), as variações dos atributos químicos são justificadas por alterações provocadas pela ação do homem, em relação a adubação, calagem e intervenções no solo ou ainda, devido à alta heterogeneidade do local em forma de relevo ou fluxo da água. Resultando em grandes diferenças de valores em torno da média entre os atributos químicos na área avaliada.

Tabela 3 - CTC efetiva (CTC_{EF}), CTC_{pH}, Saturação por bases (V%), Saturação por Alumínio (SATAI), Enxofre (S), Zinco (Z), Cobre (Cu), Boro (B) e Manganês (Mn), sob diferentes usos do solo.

Profundidade (cm)	CTCEF (cmolc/dm ³)	CTCpH	V% -----(%)------	SATAI	S	Z	Cu	B	Mn
Pinus Mar									
0-5	0,93 A*	2,10**	23,60 A*	43,53 B*	6,27* ab	0,43 A*	0,10**	0,10**	2,00 *a
5-10	0,70 A*	1,77**	14,73 A*	62,80 B*	5,47 *b	0,37 A*	0,10**	0,12**	1,00 *b
10-20	0,73 A*	1,97**	14,63 A*	60,77 B*	6,43* ab	0,33 A*	0,10**	0,09**	1,33 *b
20-40	0,63 A*	1,83**	14,70 A*	59,50 B*	5,57 *ab	0,33 A*	0,10**	0,09**	1,00 *b
40-100	0,70 A*	2,20**	16,07 A*	49,30 B*	7,30 *a	0,27 A*	0,10**	0,11**	1,67 *ab
Campo Nativo									
0-5	0,40 B*	1,77**	18,33 A*	20,67 C*	5,87 *ab	0,30 AB*	0,10**	0,09**	2,00 *a
5-10	0,43 B*	1,70**	15,43 A*	41,73 C*	6,13 *b	0,27 AB*	0,10**	0,09**	1,00 *b
10-20	0,43 B*	1,63**	15,97 A*	41,90 C*	5,90 *ab	0,27 AB*	0,10**	0,09**	1,00 *b
20-40	0,43 B*	1,60**	18,53 A*	34,10 C*	6,53 *ab	0,23 AB*	0,10**	0,08**	1,00 *b
40-100	0,60 B*	2,10**	20,83 A*	23,47 C*	7,97 *a	0,23 AB*	0,10**	0,13**	1,33 *ab
Pinus Lagoa									
0-5	0,83 A*	2,03**	13,80 B*	65,77 A*	6,70 *ab	0,30 B*	0,10**	0,10**	2,00 *a
5-10	0,83 A*	1,30**	12,50 B*	71,60 A*	6,17 *b	0,17 B*	0,10**	0,12**	1,00 *b
10-20	0,83 A*	2,03**	11,20 B*	72,00 A*	6,37 *ab	0,17 B*	0,10**	0,10**	1,00 *b
20-40	0,77 A*	1,87**	12,17 B*	70,23 A*	6,70 *ab	0,20 B*	0,10**	0,10**	1,00 *b
40-100	0,73 A*	1,80**	12,40 B*	69,53 A*	6,93 *a	0,27 B*	0,10**	0,08**	1,00 *ab

(*)Médias, não diferiram entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas representam Local e minúscula a Profundidade.

O CV deve ser utilizado como parâmetro para validar os valores médios encontrados, uma vez que, segundo Pimentel - Gomes e Garcia (2002), um coeficiente de variação maior

que 30,00 % revelam que a média tem pouco significado e valores maiores que 60% refletem série de dados muito heterogênea anulando a confiabilidade da média. Contudo, se for menor que 30%, os dados são homogêneos e a média tem significado, podendo ser utilizada como representativa para os dados obtidos.

Em relação ao pH, o VN apresentou os maiores valores, associados a uma acidez média (5 a 5,9), no entanto os outros dois tipos de uso do solo apresentaram acidez elevada (<5,0) conforme trabalho de Tomé Júnior (1997). Segundo Freire (2006) e Brady e Weil (2013) esses solos apresentam a condição de acidez mais elevada por conta de precipitações, que ao longo dos anos acabam por lixiviar as bases, além de introduzir variedades de ácidos que fornecem íons H^+ . Por outro lado, os valores encontrados de pH são considerados normais para culturas anuais e perenes, principalmente para o gênero *Pinus* (RIGATTO, 2002)

A relação Al e Ca tendem a ser opostas, quanto maior o Al menor os valores de Ca, não sendo nos dois casos diferenciados na profundidade somente nos usos do solo. Os valores de alumínio de forma geral são considerados baixos (RIBEIRO et al., 1999), apesar dos valores de pH também serem baixos, mas continuam intervindo e regulando a neutralização do elemento (SOUZA;ALVES, 2003). Salientando que O Al é tóxico para o crescimento e desenvolvimento das raízes e plantas, porém o gênero *Pinus* cresce e se desenvolve até altos níveis de Al e Mn (GONÇALVES, 1995), como pode ser observado na área com o desenvolvimento da espécie nesses 36 anos.

Em relação a SAT Al, houve diferenciação entre a VN apresentando menor concentração, do que no PM e posteriormente no PL, divergindo dos estudos de Carvalho et al. (2015) e Oliveira et al. (2017) que apresentou maiores concentrações dentro da vegetação nativa e menor dentro do plantio florestal. Apesar disso, os resultados do estudo corroboram com a acidez do solo. Diante disso, os valores apresentados no uso do solo com *Pinus* aproximaram-se ou igualam-se a 60%, indicando muito alta (>50%) a SAT Al, já o VN apresentou saturação alta (TOMÉ JÚNIOR, 1997).

O atributo MO, apresentou interação para o local, diferenciando-se na primeira profundidade (5 - 10 cm) com maiores valores no PL e PM do que no VN, possivelmente por conta do acúmulo de acículas caídas sob o solo, proporcionando maior aporte de biomassa na superfície, que também foi observado por Araújo et al. (2007), Bognola et al. (2010) e Abrão et al. (2015). Outra interação ocorreu na profundidade de 40 a 100 cm, com maiores médias para PM e VN do que para PL, neste caso pode ter ocorrido a coleta de algum material em decomposição ou resquícios de conchas, já que na mesma profundidade os valores de P, Ca e Mg também foram altas comparado às demais profundidades.

Os teores de Ca encontram-se abaixo de $0,4 \text{ Cmolc. Dm}^{-3}$, o que resulta em teor baixíssimo, podendo ser responsável a ausência de intervenção de fertilidade e correção da área, indo ao encontro do trabalho obtido para vegetação nativa e área florestada no estudo de Oliveira et al. (2017), que estavam sob mesma condição.

O Mg não apresentou diferenças entre os locais e profundidades, obtendo valores semelhantes com Carvalho et al. (2015) para uma vegetação nativa, que neste caso seria o campo nativo e diferenciou-se dos valores encontrados para a floresta de Eucalipto em um comparativo com a de Pinus, sendo que na área de estudo deste trabalho não ocorreu adubação, o que pode ter influência nos valores mais baixos.

O P apresentou maiores valores no PM e VN do que no PL, assim como, de forma geral obteve-se valores crescentes conforme o aumento da profundidade, apesar de ser considerado estatisticamente iguais, corroborando com o estudo desenvolvido por Carvalho et al. (2015) e contrapondo Bayer (1992) que demonstrou o aumento da concentração de P mais próximo à superfície e diminuindo a concentração conforme o aumento da profundidade. Geralmente a maior disponibilidade de P está ligada à elevação do pH na solução do solo (Ponnamperuma, 1972), a redução do Mn (Shahandeh et al., 2003) e a mineralização do fosfato (Pierzynski et al., 2005).

Com exceção da camada de 40 - 100 cm no PM, todos valores encontrados de fósforo nos diferentes locais são considerados baixos ($<20 \text{ mg. dm}^{-3}$), conforme Ribeiro et al. (1999). Segundo Bastos et. al (2008), os solos arenosos apresentam maior adsorção do P, uma vez que está relacionado com um maior fluxo de difusão do P, diminuindo a quantidade disponível deste atributo no solo.

Na interpretação da média dos atributos químicos do VN e o plantio de *Pinus elliottii* em comparação aos dados de referência da comissão de química e fertilidade do solo - RS/SC, apresentou diferença apenas o K que no Pinus foi considerado muito baixo e na VN somente baixo, apesar de que na análise estatística esse elemento não tenha se diferenciado entre os locais e nem mesmo nas profundidades. Ainda, segundo Tomé Júnior (1997), todos valores encontrados são considerados baixos, pois são menores do que $0,10 \text{ Cmolc.dm}^{-3}$.

O somatório de Ca + Mg, encontra-se com teor baixo ($<2,5 \text{ Cmolc.dm}^{-3}$) em todos os casos desses macronutrientes (BARTZ et al., 1995), o que proporciona juntamente com o elemento K, uma V% muito baixas. Por conta disso, aliado ao pH e acidez do solo, a V% apresentou valores considerados baixos (RIBEIRO et al., 1999). Ainda, resultou maiores valores para PM e VN por conta da maior disponibilidade das bases nestes locais, quando

comparada a PL, corroborando parcialmente com Rosa et al. (2007) que apresentou maiores valores para Vegetação nativa (Campo nativo) do que para *Pinus elliottii*.

A CTC_{EF} diferenciou-se significativamente em relação ao VN e os dois tipos de uso de solo para *Pinus elliottii*, no geral considerou-se os teores muito baixos, com exceção da camada 0-5 cm nos dois usos de solo com Pinus e de 5-20 cm no PL que foram considerados baixos. Já a CTC_{pH} obteve o mesmo comportamento nos diferentes locais e profundidades considerando-se muito baixa (<1,6) a baixa (1,61 a 4,3), justificado pela acidez elevada do solo, acúmulo de MO na primeira camada e V% baixas, resultando em baixa fertilidade dos locais (OLIVEIRA et al., 2017).

Para S, houve diferenciação na profundidade sendo em maior quantidade na camada mais profunda do solo, ao invés da primeira camada que é mais comum, porém, indo ao encontro dos resultados obtidos para MO, visto que boa parte deste elemento é proveniente dela (EMBRAPA, 2017). Além disso, ela não se diferenciou em relação ao local, demonstrando que não houve uma contaminação da pasta estimulante a base de ácido sulfúrico (18%) nas áreas de *Pinus elliottii* quando comparada a VN.

Em relação aos micronutrientes: Z, B, Mn e Cu apresentaram teores muito baixos, sendo respectivamente (<0,4), (<0,15), (<4,0) e (<0,3) (RIBEIRO et al., 1999). O Mn apresentou diferenciação nas profundidades, sendo maior quantidade na camada superficial (0-5 cm) e menor nas camadas medianas (5 até 40 cm). Para Z, houve diferenciação nos locais, resultando em maiores concentrações no PM, posteriormente no VN e por fim no PL. Geralmente a disponibilidade dos micronutrientes estão relacionados com os macronutrientes, pH e MO, portanto, por consequência de solos mais ácidos, baixa MO e macronutrientes em baixa ou muito baixa concentração resultaram em baixa quantidade destes micronutrientes (Valladares et al., 2009).

Visto que os valores encontrados estão dentro do padrão estabelecido pela Comissão de química e fertilidade do solo - RS/SC, do Manual de Adubação e Calagem, (2004), apesar de ter diferenciação estatística entre local e ou profundidade em alguns casos. Desta forma, seria recomendável, para o melhor crescimento e desenvolvimento do *Pinus elliottii* a correção da acidez do solo e a aplicação de fertilizantes. O Neossolo Quartzarênico da região sul do Pampa apresenta baixa fertilidade natural (AZEVEDO, 2020) explicando a variação dos atributos químicos do solo visto que não houve manejo da adubação.

Ziller e Galvão (2002), esclarecem que não são as atividades que causam degradação e sim a forma de manejo realizada, e isso mostra o caminho para (MATEUS; PADILHA, 2017) conciliar rendimento econômico com responsabilidade ambiental, para a conservação do

Pampa. Os resultados deste trabalho apontam para esta direção, ou seja, sistemas de manejo florestal mais próximos da dinâmica natural que promovam as menores alterações possíveis na dinâmica do ecossistema local.

A área de estudo localiza-se numa área dentro da Zona de Amortecimento da Estação Ecológica do Taim criada pelo decreto 92.963 de 21 de julho de 1986, de grande importância ambiental (GUASSELLI, 2005; PINTO et al. 2013; JOSENDE et al. 2015; ESPINELLI et al. 2017; KIRST; MARINONI; KRÜGER, 2017; ZAFALON-SILVA; KIRST; KRÜGER 2018; CARRASCO et al., 2019; QUINTELA et al. 2019; RAMSAR, 2020). Nesta linha, apesar de tratar-se de uma espécie exótica com alto potencial invasor e classificada com alto potencial poluidor pela legislação estadual, Portaria nº 79 de 31 de outubro de 2013(SEMA. 2013). Os resultados mostram que é possível, dentro dos aspectos abordados neste estudo, tornar ambientalmente viável a silvicultura de *Pinus elliottii* nesta região singular a partir da qualificação dos sistemas de produção da silvicultura e conciliar a atual dicotomia entre Preservar e Produzir.

A.4 CONCLUSÕES

Houve aumento da Ma do solo nas áreas com silvicultura tanto no PM (de 0,32 m³. m⁻³ a 0,37 m³. m⁻³) quanto no PL (de 0,33 m³. m⁻³ a 0,37 m³. m⁻³) em comparação com a VN (de 0,29 m³. m⁻³ a 0,34 m³. m⁻³).

Os resultados da ANOVA demonstraram não haver diferença significativa (5%) para os atributos VTP e Ds entre PE, PL e VN e profundidades.

Acerca dos atributos químicos solo, foram encontradas diferenças significativas (ANOVA 5%) entre PE, PL e VN para a CTC EF, SAT B, SAT Al, pH e macronutrientes: MO, P, Al, Ca, e micronutriente Z. Assim como, para as profundidades 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-100 cm para MO, S e Mn.

Não foram encontradas diferenças para % de argila, K, Mg, Al +H, CTC pH, Cu e B.

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que a silvicultura com *Pinus elliottii* em Neossolo Quartzarênico na Planícies Litorânea Sul do RS teve efeitos positivos e não significativos tanto na porção próxima do Oceano Atlântico (PM) quanto na porção mais influenciada pela Lagoa Mangueira (PL) em comparação com as áreas que não tiveram silvicultura e permaneceram com cobertura de vegetação natural (VN).

REFERÊNCIAS

- ABRÃO, S.F.; SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; EBLING, A. A. IMPACTO DO FLORESTAMENTO COM *Pinus taeda* L. NA POROSIDADE E PERMEABILIDADE DE UM CAMBISSOLO HÚMICO. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.39, n.6, p.1073-1082, 2015.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.5, p.1099-1108, 2007.
- ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C. G.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V. C.; FERREIRA, T.O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.18, n.2, p.141–149, 2014.
- AZEVEDO, G. M. Campos da região litorânea sul do Bioma Pampa. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, e24791210985, 2020.
- BARTZ, H. R. et al. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3 ed. Passo Fundo: SBCS/ Núcleo Regional Sul, 224 p, 1995.
- BASTOS, A. L. et al. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 136-142, 2008.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 105-112, 1997.
- BOGNOLA, I.A.; DEDECEK, R.A.; LAVORANTI, A.J.; HIGA, A.R. Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda* **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.30, n.1, p.37-49, 2010.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686 p.
- CARRASCO, Thayara S. et al. Nicho isotópico da lontra Neotropical, *Lontra longicaudis* (Carnivora, Mustelidae), em diferentes sistemas aquáticos costeiros do sul do Brasil. **Hydrobiologia**, [s.l.], v. 835, n. 1, p.83-100, 15 mar. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-019-3931-x>.
- CARVALHO, R. P.; DANIEL, O.; DAVIDE, A. C.; SOUZA, F. R. Atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, v. 28, n. 1, p. 148-159, 2015.

COSTA, E. A. et al. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, jul. 2006.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO –RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 2004, 400p.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, S.A. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.289-298, 1999.

DEDECEK, R.A.; GAVA, J.L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 383-390, maio/jun. 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos** 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Brasília, DF). Manual de métodos de análise de solo. 3.ed. Brasília: Embrapa-CNPq, 2017. 212p.

ESPINELLI, Fábio P. et al. The partitioning of food resources between two rodents in the subtropical region of southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s.l.], v. 89, n. 1, p.191-202, mar. 2017. *Fap UNIFESP (SciELO)*. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720160445>.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.,DEDECEK, R.; ANDRADE, G. C.; FERRARIA, M. P.Pesquisas sobre nutrição de pinus no sul do Brasil.Revista da Madeira, n. 83, 2004. Disponível em <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=600&subject=Nutri%E7%E3o&title=Pesquisas%20sobre%20nutri%E7%E3o%20de%20p%E9dus%20no%20Sul%20do%20Brasil>. Acesso em 20 de janeiro de 2022.

FREIRE, O. **Solos das regiões tropicais**. Botucatu: FEPAF, 2006.

GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de adubação para Eucalyptus, Pinus e espécies típicas da Mata Atlântica. ESALQ/USP. Documentos Florestais, v. 15, p.1-23. 1995.
SHAHANDEH, H.; HOSSNER, L.R.; TURNER, F.T. Phosphorus relationships to manganese and iron in rice soils. *Soil Science*, Baltimore, 168: 489-500, 2003.

GUASSELLI, Laurindo Antonio. **Dinâmica da Vegetação no Pantanal TAIM**, RS. 2005. 173 f. Tese de Doutorado - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

JOSE, S.; SREEPATHY, A.; KUMAR, B. M.; VENUGOPAL, V. K.. Structural, floristic and edaphic attributes of the grassland-shola forests of Eravikulam in peninsular India. **Forest Ecology and Management**, v. 65, p. 279-91, 1994.

JOSENDE, Marcelo Estrella et al. Avaliação Genotóxica em duas espécies de anfíbios de áreas úmidas subtropicais brasileiras. **Indicadores Ecológicos**, [s.l.], v. 49, p.83-87, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.10.007>.

KIRST, F.d.; MARINONI, L.; KRÜGER, R.f.. What does the Southern Brazilian Coastal Plain tell about its diversity? Syrphidae (Diptera) as a model. **Bulletin Of Entomological Research**, [s.l.], v. 107, n. 5, p.645-657, 10 fev. 2017. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0007485317000128>.

Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10. ed. – Porto Alegre, 2004.

MARCATTO, F. S. A., & SILVEIRA, H. Relação entre as propriedades físicas e hídricas e os tipos de uso da terra em Neossolos Regolíticos da bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR. Caderno de Geografia, v. 27, n. 50, p. 427-440, 2017. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2017v27n50p427>.

MATEUS, Ricardo; PADILHA, Damáris. Avaliação multicritério da fragilidade do território no Brasil. A silvicultura no Estado do Rio Grande do Sul. **Finisterra**, [s.l.], v. 52, n. 104, p.73-104, 28 abr. 2017. Centro de Estudos Geográficos (IGOT) Universidade de Lisboa. <http://dx.doi.org/10.18055/finis6971>.

NEVES, C. M. N. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, 74: 45- 53, 2007.

PIMENTEL - GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba SP: Fundação Escola de Agricultura Luiz de Queiroz - Fealq, 2002. 309p.

PINTO, Dp et al. Microhabitat use by three species of egret (Pelecaniformes, Ardeidae) in southern Brazil. **Brazilian Journal Biology**, v. 73, n. 4, p.791-796, 2013.

PRITCHETT, W.L.; FISHER, R.F. **Properties and management of forest soils** 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1987.

OLIVEIRA, C. M de; NAPPO, M. E; PASSOS, R. R; MENDONÇA, A. R de.. Comparação entre atributos físicos e químicos de solo sob floresta e pastagem. REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE ENGENHARIA FLORESTAL – ISSN: 1678-3867. Garça, São Paulo. Ano VII, Número 12, Periódicos Semestral, agosto de 2008.

OLIVEIRA, T. P.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; NANZER, M. C.; BARRETA, P. G. V. Atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS, v. 4, Suplemento 1, p. 72-78, dez. 2017. ISSN 2358-6303.

OVERBECK, G. E., VÉLEZ-MARTIN, E., SCARANO, F. R., LEWINSOHN, T. M., FONSECA, C. R., MEYER, S. T., & GANADE, G. **Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems**. *Diversity and Distributions*, 21(12), 1455-1460, 2015.

PIERZYNSKI, G. M.; McDOWELL, R.M. & SIMS, J.T. Chemistry, cycling, and potential movement of inorganic phosphorus in soils. In: SIMS, J.T. & SHARPLEY, A.N., eds. *Phosphorus: Agriculture and the environment*. Madison, Soil Science Society of America, 2005. p.53-86.

PILLAR, V de P; LANGE, O. **Os campos do sul**. Rede campos Sulinos – UFRGS, Porto Alegre- RS, 2015.13-167 p. 2015.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.*, 24:29-96, 1972.

QUINTELA, Fernando M. et al. Altas concentrações de arsênio e chumbo em peixes e répteis das áreas úmidas do Taim, um local de Ramsar no sul do Brasil. **Ciência do Meio Ambiente Total**, [s.l.], v. 660, p.1004-1014, abr. 2019. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.031>.

RAMOS, H. M. M.; DUARTE, J. F. B.; SIMPLÍCIO, A. A. F.; OLIVEIRA, I. M. C.; FEITOSA, D. de L. ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB DIFERENTES USOS. *Rev. Bras. Agric. Irr.* v.14, n.2, Fortaleza, p. 3968 - 3975, Mar – Abr, 2020.

RAMSAR – SITES INFORMATION SERVICE. **Estação Ecológica de Taim**. Suíça, 2020. Disponível em: <https://rsis.ramsar.org/ris/2298>. Acesso em 04 jan. 2023.

RIBEIRO, K. D. et al. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.

RIGATTO, P.A. Influência dos Atributos do Solo sobre a Produtividade e a Qualidade da Madeira de Pinus taeda para Produção de Celulose Kraft. Curitiba, 2002. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) –Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná

SILVA, L. G.; MENDES, I. C.; REIS JR., F. B.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 6, p. 613-620, 2009.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE/RS. Portaria SEMA N° 79 de 31 de outubro de 2013. Reconhece a Lista de Espécies Exóticas Invasoras do Estado do Rio Grande do Sul e demais classificações, estabelece normas de controle e dá outras providências. *Diário Oficial*. Porto Alegre, 2013.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um Latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa MG, v. 23, n. 27, p. 133-139, 2003.

TEDESCO, M, J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C, A.; BOHNEN, H; VOLKWEISS, S, J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS/ Departamento de solos, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5)

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 247 p. 1997.

ZAFALON-SILVA, Ândrio; KIRST, Frederico Dutra; KRÜGER, Rodrigo Ferreira. Moscas domésticas falando pela conservação de áreas naturais: uma ampla amostragem de Muscidae (Diptera) em planícies costeiras do bioma Pampa, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia*, [s.l.], v. 62, n. 4, p.292-303, out. 2018. UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1016/j.rbe.2018.09.002>.

ARTIGO B: EFEITO DA SILVICULTURA DE *Pinus elliottii* Engelm. NA RECARGA DO LENÇOL FREÁTICO EM ÁREA DE PLANÍCIE COSTEIRA NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

RESUMO

A água é fundamental para o desenvolvimento e equilíbrio do meio biótico, e mudanças do uso do solo podem gerar alterações na dinâmica do lençol freático. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi analisar a recarga da água subterrânea sob vegetação nativa em comparação com áreas de silvicultura de *Pinus elliottii* Engelm. A área de estudo localiza-se no Litoral Sul do Rio Grande do Sul nas coordenadas geográficas 32°56'0.66" S e 52°33'42.05" O. A vegetação Nativa (VN) é típica da Planície Costeira do RS dentro do domínio do Bioma Pampa e os plantios de *Pinus elliottii* Engelm. (PE) tem 36 anos de idade. O estudo foi organizado na forma de um transecto de 4 km, no sentido Oceano Atlântico-Lagoa Mangueira, onde foram perfurados 16 poços de monitoramento, com 3 m de profundidade, distanciados 250 metros entre si. Nestes poços foram construídos piezômetros com canos de PVC de 75 mm sendo que em quatro deles foram instalados sensores Data Logger (Sigma Sensors U20L-04), sendo dois em cada uso do solo. Para análise dos dados foi selecionado o método Water Table Fluctuation (WTF) e confeccionadas curvas comparativas no período mais quente e anual. Foram coletados dados de cota de elevação nos piezômetros por um período de 316 dias. Os resultados da análise pelo método WTF mostraram recargas de 2,75 m e 3,82 m, para o PE, e 3,07 m e 2,68 m para VN, isto para uma precipitação de 844 mm (0,84 m) no período. Esta recarga, maior do que a precipitação, provavelmente ocorreu em função do recebimento de água sub-superficial e subterrânea lateral, facilitadas pela alta macroporosidade do solo. Em relação à curva de permanência total, os piezômetros 2 e 14, em PE, ficaram 20% e 100% acima da marca de 1 m. Os piezômetros 5 e 9, em VN, ficaram 40% e 90% acima desta marca. Considerando o período de 316 dias. Isto significa que, nestas porcentagens de tempo, a água (lençol freático) esteve a menos de um metro de profundidade. A partir das informações obtidas é possível concluir que a silvicultura de PE apresentou uma dinâmica do lençol freático sem alterações em comparação com a VN na área de estudo. Ou seja, é possível afirmar que a silvicultura com PE não gerou alteração na dinâmica da água subterrânea em comparação com a VN da Planície Costeira.

Palavras-chave: Água subterrânea. Bioma Pampa Hidrologia florestal. *Water Table Fluctuation*.

B.1 INTRODUÇÃO

Os recursos naturais são a base para a produção de bens de consumo e para a manutenção da vida no planeta. A água é um recurso fundamental e finito, cuja demanda aumenta com o crescimento populacional e o crescimento da demanda por matérias primas e produtos. Neste contexto está a silvicultura com espécies exóticas para produção de madeira e outros produtos não madeireiros, considerados essenciais para o atendimento das demandas da sociedade.

A silvicultura, em maior escala, iniciou na década de 60 com os incentivos fiscais e, atualmente, ocupa no Brasil e no Rio Grande do Sul (RS) uma posição de destaque para a economia e sociedade. Da mesma forma, é tratada com atenção especial em relação aos seus

aspectos ambientais. Nesta linha, o estado do RS aprovou no ano de 2010 o Zoneamento Ambiental da Silvicultura (ZAS) (CONSEMA, 2018) a fim de organizar a expansão e restringir, conforme a necessidade, esta atividade. Dentre os aspectos fundamentais considerados no ZAS está a disponibilidade hídrica.

Portanto, um fator primordial para a manutenção e/ou expansão da silvicultura é a disponibilidade de água. Este mesmo aspecto pode ser abordado a partir do ponto de vista dos efeitos da silvicultura sobre a dinâmica hidrológica das áreas de cultivo. Ou seja, os efeitos da mudança do uso do solo na dinâmica e disponibilidade da água.

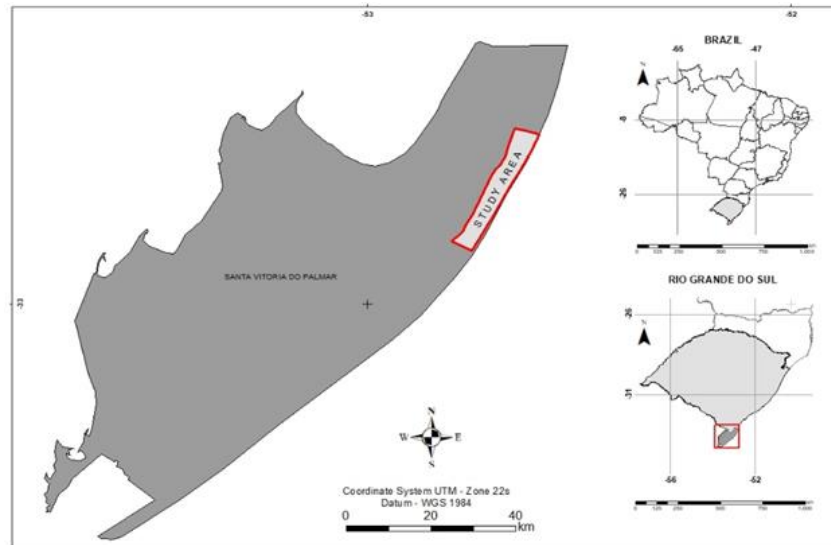
Os monocultivos de árvores consomem água subterrânea e podem afetar a sua disponibilidade (GIANUCA, 2009) e a sua qualidade (MENEZES, 2012). Portanto, a compreensão dos efeitos do tipo de uso e ocupação do solo sobre a água, como por exemplo o monitoramento da recarga subterrânea, é fundamental para compreender a viabilidade ambiental desta atividade. O monitoramento da água subterrânea é um instrumento auxiliar para o diagnóstico e mitigação dos efeitos da alteração do uso do solo em aquíferos livres (NETO; KIANG, 2008). O entendimento destes aspectos pode indicar a adaptabilidade do ecossistema à monocultura de árvores e, a partir disso, avaliar a sustentabilidade ambiental do processo produtivo.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é estudar o efeito da monocultura de árvores de *Pinus elliottii* Engelm. no nível do lençol freático e em sua dinâmica de recarga em relação a Vegetação Nativa em uma área da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, em área de domínio do Bioma Pampa.

B.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na Área de Pesquisa de Campo do Projeto Fazenda Modelo Flopal (Registro nº 51617/GAP-UFSM-FW), situada no território do município de Santa Vitória do Palmar, Rio Grande do Sul, Brasil (coordenadas geográficas 32°56'0.66"S e 52°33'42.05"O). A Área de Pesquisa encontra-se numa faixa de terras entre o Oceano Atlântico (à leste) e a Lagoa Mangueira (à oeste) (Figura 1).

Figura 1- Localização da área de estudo



Fonte: Adaptada de FEPAM e IBGE.

O ecossistema original é classificado como Planície Costeira (BRASIL/MMA, 2007), dentro do domínio do Bioma Pampa. A Vegetação Nativa (VN) é caracterizada pela presença marcante de espécies prostradas, estoloníferas ou rizomatosas, cobrindo parcialmente ou totalmente o solo, resultando em pouca exposição (PILLAR, 2015). Todavia, quando comparada com outros campos, apresenta baixa riqueza específica (GARCIA, 2005).

Nesta área foi implantado na década de 80 (1983-1987) monocultivos de árvores de espécie *Pinus elliottii* (PE) com espaçamento inicial de 2,4 m x 1,6 m (\pm 2.600 plantas por hectare) sem adubação de plantio ou cobertura. Nestes plantios não foi realizado desbaste e desrama das árvores. À época do início deste trabalho (ano de 2022), os plantios estavam com, aproximadamente, 1.338 árvores.ha⁻¹ com Diâmetro a Altura do Peito (DAP) médio de 23,1 cm e Altura Total média de 21,2 m, o que corresponde a um volume total estimado de 570,2 m³. ha⁻¹.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen é Cfa, ou seja, subtropical úmido, oceânico e com verões quentes, em que a temperatura do mês mais quente é superior a 22° C, e a mínima do mês mais frio superior a - 3° C, e a precipitação varia entre 1300 e 1600 mm anuais (ALVAREZ et al., 2013).

O solo é classificado como Neossolo Quartzarênico, que é composto basicamente por areia, com variação de acordo com a micro topografia, e distinguindo-se em solo arenoso bem drenado (encontrado em pequenas elevações) e mal drenado (encontrado nas baixadas), conforme EMBRAPA (2006). Este solo está associado a relevos plano ou ondulado suave, com

textura arenosa e teor de argila <15%, coloração amarelada abaixo do horizonte A e ligeiramente escura ao longo dos outros horizontes, com perfil do longo (bastante profundo) sem impedimentos para o desenvolvimento de raízes (EMBRAPA, 2009). Esta classificação foi aprofundada em terceiro e quarto nível por Streck et al. (2008), que definiram os solos da Região do “Taim” (área de estudo) como um mosaico de Neossolo Quartzarênico Hidromórfico Hístico, em que o horizonte A está sobre sedimentos muito arenosos e com baixo teor de argila.

Para obtenção dos dados necessários foi alocado um transecto de quatro quilômetros que abrangeu plantios de PE próximos ao Oceano Atlântico, áreas com VN da Planície Costeira e plantios próximos da Lagoa Mangueira (“mais internalizados”). Neste transecto foram perfurados poços com três metros de profundidade a cada 250 m, totalizando 16 poços. Nestes poços foram construídos piezômetros com 3 m de profundidade e 75 mm de espessura, vedados nas extremidades, com perfurações em linhas para facilitar a entrada de água e alívio da pressão. Para evitar o solapamento (entrada excessiva de areia) os piezômetros foram revestidos com tecido não tecido (TNT), material permeável e inerte que permite a livre passagem da água.

Foram selecionados quatro piezômetros, dois em PE e dois em VN, para instalação de sensores do tipo transdutores de pressão da SIGMA SENSORS® modelo U20L-04. Estes sensores coletam a informação da cota da água subterrânea (gradiente de alturas) a cada 15 minutos. Nos demais piezômetros foi realizada medição mensal com medidor de nível da água tipo “Jaciri” da AGSOLVE®, que obtém o valor da cota de água no momento.

Após a instalação dos poços, foi utilizado o sistema RTK (Real-time-Kinematic) que se fundamenta na transmissão instantânea de dados de correções de sinais de satélites, dos receptores de referência no campo e seus vértices de interesse, proporcionando melhores resultados de precisão de campo, quanto a elevação do solo.

Os dados da precipitação e da pressão atmosférica foram obtidos das Estações Automáticas do INMET (2023) da cidade de Rio Grande – RS e Santa Vitória do Palmar-RS (dados a cada hora) e das estações meteorológicas automáticas de propriedades parceiras com coleta de dados a cada 5 minutos.

Para a quantificação da recarga subterrânea da água foi escolhido o método *Water Table Fluctuation* (WTF) ou Variação do Nível da Água (VNA) de Healy e Cook (2002). O método fundamenta-se em mensurar o quanto o lençol freático aumenta de nível em cada evento de precipitação atmosférica. Realizada por meio de um modelo em que: a diferença do nível do lençol freático (Δh); no tempo de estudo (Δt), é multiplicado pelo rendimento específico do solo (s_y) ou pela macroporosidade média do solo (em locais sem dados específicos de s_y) (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores de macroporosidade do solo da área de estudo

Profundidade (cm)	VTP (m ³ m ⁻³)	Ma (m ³ m ⁻³)
Poço 2		
0-5	0,444	0,350
5-10	0,453	0,358
10-20	0,430	0,339
20-40	0,477	0,365
40-100	0,457	0,306
Média	0,4522	0,3436
Poço 5		
0-5	0,502	0,403
5-10	0,409	0,316
10-20	0,414	0,303
20-40	0,399	0,291
40-100	0,448	0,303
Média	0,4344	0,3232
Poço 9		
0-5	0,451	0,338
5-10	0,423	0,318
10-20	0,441	0,322
20-40	0,416	0,316
40-100	0,407	0,287
Média	0,4276	0,3162
Poço 14		
0-5	0,485	0,376
5-10	0,479	0,385
10-20	0,440	0,363
20-40	0,433	0,353
40-100	0,387	0,290
Média	0,4448	0,3534

O Δh utilizado no cálculo é, inicialmente, proveniente da subtração da pressão da atmosfera (medida nas estações meteorológicas) pela pressão do sensor dentro do poço (na mesma escala), resultando no nível do lençol freático.

Posteriormente, esses dados são verificados e classificados como Recarga (aumento do nível) e Descarga (diminuição do nível), sendo utilizado uma métrica de que somente valores de recarga com variação maior de 6 cm no aumento da cota seria considerado realmente como Recarga, visto que existe a maré barométrica descrita por Baumhardt et al. (2011) que influencia diretamente nos dados dos sensores utilizados neste estudo, oscilando frequentemente a cota. Logo após as cotas consideradas recargas foram dispostas em uma curva de recessão construída de forma subjetiva (BARRETO; GOMES; WENDLAND, 2010).

A técnica da curva de permanência é largamente utilizada na hidrologia e funciona muito bem para observar o comportamento sazonal em águas subterrâneas no tempo de monitoramento. Com isso, buscam demonstrar a sazonalidade dos dados de nível do lençol freático, de forma anual com todos os dados disponíveis e durante o verão, que geralmente é a estação mais crítica em relação à disponibilidade hídrica, possibilitando verificar o comportamento do nível do lençol freático neste período. A confecção das curvas levou em consideração todos dados observados de nível para cada sensor e cada condição do clima, conforme citado acima, distribuídos em percentual de tempo total.

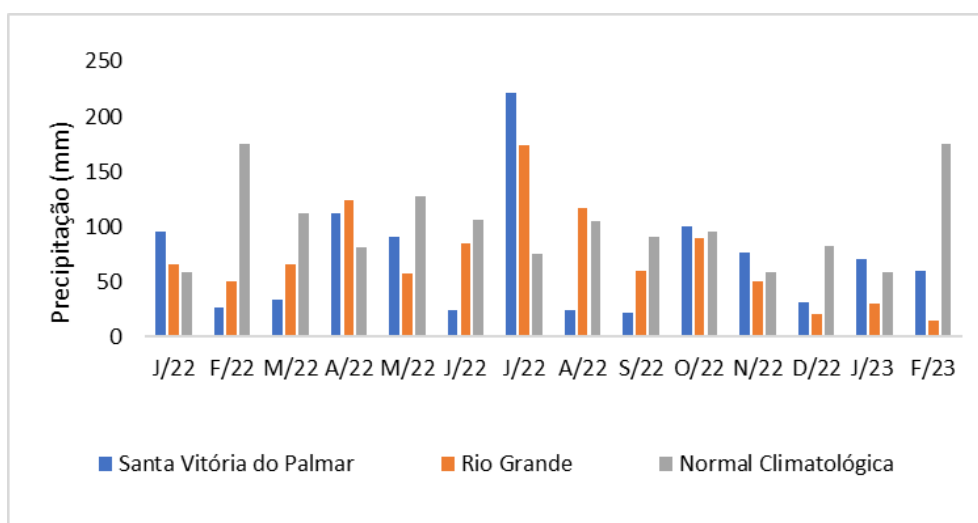
B.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O período de coleta dos dados foi de 12/01/2022 a 08/02/2023 totalizando 391 dias. Entretanto ocorreram falhas nos sensores, com a memória dos dados que não se sobrepõem e pararam de funcionar, com isso os dados do período de 24/08/2022 a 08/11/2022 (75 dias) não puderam ser utilizados. Os meses de setembro e outubro tem precipitação média de 60 e 90 mm, ou seja, valores até significantes para o cômputo final, tornando o estudo ainda mais conservador em suas análises.

Efetivamente foi possível analisar os dados de 316 dias em que precipitação observada foi de 858,5 mm na estação de Santa Vitória do Palmar (SVP), distante 85 km, e de 844,0 na de Rio Grande (RG), a uma distância de 112 km. Na estação de SVP não há coleta de informações para cada evento de precipitação e, por isso, foram utilizados dados de RG. Apesar da distância entre o local de estudo e as estações ser grande, a diferença entre as observações é de apenas 14,5 mm (1,7%).

O resultado da precipitação total (844,0 mm em 316 dias) é inferior à média histórica (1.170,27 mm), e aos 989,3 mm e 1.003 mm registrados nas estações de SVP e RG, respectivamente. Diante disso foi também realizado uma análise histórica do comportamento das chuvas na região, chegando a uma média de 1.180 a 1.426 mm no ano (INMET, 2023) (Figura 2).

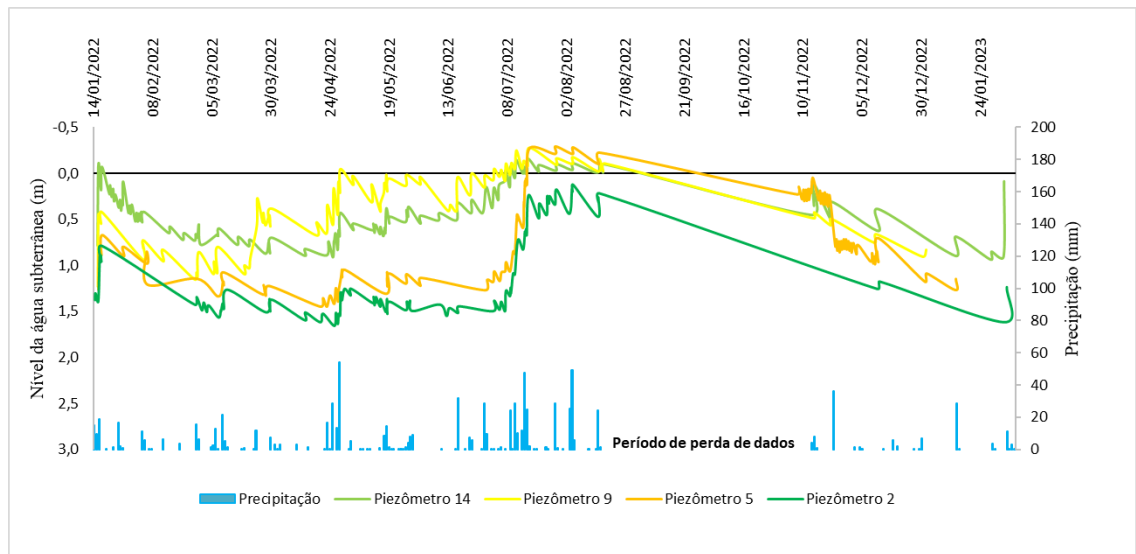
Figura 2- Demonstração das precipitações das estações de Santa Vitória do Palmar- RS e Rio Grande - RS em comparativo a Normal Climatológica de forma mensal



Em função do exposto, os cálculos da recarga subterrânea pelo método WTF foram feitos apenas para 316 dias. É possível observar (Figura 3) que as recargas dos quatro piezômetros monitorados apresentaram comportamento semelhante e, “responderam” aos eventos de precipitação. Este resultado valida a escolha do método WTF, frequentemente utilizado em áreas florestais (VINCK; THIRTY, 2008; ALA-AHO; ROSSI; KLØVE, 2015), e comprova a classificação do lençol freático como tipo livre.

É possível observar que há um atraso entre o evento da precipitação e o registro da alteração no nível do lençol freático (recarga). Este atraso é tempo necessário para a reação da recarga ser identificada pelo sensor. Este tempo varia de acordo com as características do solo, da saturação do solo e do tipo de lençol freático (FRITZEN, 2016; PASINI et. al, 2022).

Figura 3- Disposição das recargas em cada piezômetro em função da precipitação.



Os resultados apresentados na Figura 3 evidenciam a baixa profundidade do nível do lençol freático na área de estudo. Mesmo nos períodos de menor precipitação a profundidade máxima medida foi de 1,5 m (piezômetro 2 em medições nos meses de março e abril de 2022). Esta superficialidade do nível do lençol freático ajuda a compreender os “valores negativos” registrados nos piezômetros 14, 9 e 5 em parte dos meses de julho e agosto. Houve de fato o “afioramento” do lençol freático acima da superfície do solo, comprovado visualmente durante as coletas em campo.

Esta superficialidade do lençol freático, somada à saturação da capacidade de campo em um Neossolo Quartzarênico, com alta macroporosidade, permite o movimento da água acima da superfície. Esta situação se “regulariza” a partir da infiltração e/ou movimentação lateral da água pelos espaços da macroporosidade a partir das cotas mais altas para as mais baixas. Este fenômeno poderia influenciar inclusive os resultados dos piezômetros, devido ao recebimento de água subsuperficial e subterrânea. Entretanto, as cotas dos piezômetros instalados, medidas com sistema RTK, são de: 20,16 metros sob o nível do mar (m.s.n.m) (2 e 5), 20,30 m.s.n.m (9) e 20,20 m.s.n.m (14).

As situações e fenômenos identificados e descritos acima podem auxiliar no entendimento dos resultados dos cálculos da recarga bruta da água subterrânea (Tabela 2) que variaram de 2,68 m a 3,82 m, com desvio padrão de 0,52 m. Estes valores parecem ilógicos pois são de três a quatro vezes maiores do que a precipitação 844,0 mm (0,84 m) registrada no mesmo período. Os resultados registrados da recarga variaram de 3,17 a 4,53 vezes superior à precipitação do período.

Tabela 2- Recarga direta (bruta) dos piezômetros

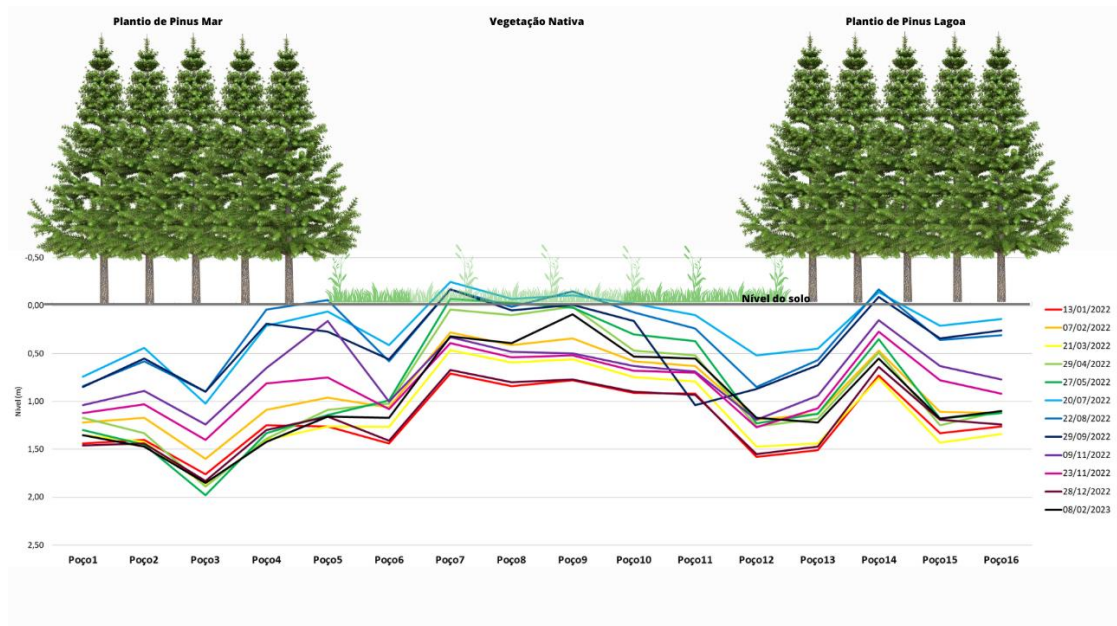
Recarga Direta do Aquífero Livre						
Identificação	Uso do solo	ΔH (m)	Dias	Sy%	m de elevação/ dia	m de elevação
Piezômetro 2	Pinus	8,00	315	0,34	0,0087	2,75
Piezômetro 5	Campo Nativo	9,52	315	0,32	0,0099	3,07
Piezômetro 9	Campo Nativo	8,46	315	0,32	0,0085	2,68
Piezômetro 14	Pinus	10,80	315	0,35	0,0121	3,82

Situação semelhante ocorreu no trabalho de Baumhardt (2014) em uma área de Argissolo, no município de Rosário do Sul - RS dentro do Bioma Pampa, em que a precipitação foi de 3.730 mm e a elevação registrada foi de 10,39 m no piezômetro com a menor cota de altitude, ou seja 2,79 vezes a precipitação. Entretanto, no trabalho de Senhorinho et al. (2021) no município de Capão da Canoa - RS (região litorânea) em uma cota de 5,18 m.s.n.m. em solo descrito como arenoso e com Sy% de 30%, os autores monitoraram a precipitação por 62 meses (9.385,1 mm) e registraram uma recarga média de 95% nos piezômetros.

Para aumentar a confiabilidade dos registros e dos resultados da recarga, foram utilizados os dados obtidos via medidor de nível (Jaciri), obtidos dos piezômetros com sensores (2, 5, 9 e 14) sem (1, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15 e 16) em diferentes datas, dentro do período do estudo (Figura 4).

Analisando a Figura 4 observa-se que os níveis de cota de água ao longo de todo o transecto não apresentaram um comportamento dominante de acordo com o tipo de uso do solo. Ou seja, há pontos com níveis de cota do lençol freático mais profundos e mais superficiais em PE (Poço 3: 1,5 m \pm 0,16 m; Poço 14: -0,36 m e \pm 0,11 m) e, do mesmo modo em VN (Poço 12: 1,18 \pm 0,09; Poço 7: -0,21 m \pm 0,11 m).

Figura 4- Distribuição das cotas de água sob vegetação e período diferentes



A profundidade média do lençol freático nos 16 piezômetros é de 0,80 m ($\pm 0,27$ m), próximo do nível do solo, tanto sob PE quanto VN. O desvio padrão desta profundidade média do lençol freático foi de 8,24 cm para o PE e de 7,05 cm para a VN. Em suma, não foi possível identificar efeitos significativos de rebaixamento do lençol freático em função da silvicultura de PE.

As características do lençol freático da área de estudo (profundidade média e variações do nível) não demonstraram influência de aspectos como evapotranspiração e micro topografia, não sendo observado um padrão de rebaixamento do nível do lençol freático entre PE e VN. De acordo com Dambrós e Silvério da Silva (2014) e Gouvêa (2009), a evapotranspiração pode influenciar mais na variação do nível da água do que a porosidade do solo. Do mesmo modo, a microtopografia, importante em áreas com formação de dunas (NASCIMENTO et al., 2023). Os poços 4, 5 e 12 estão em áreas de dunas (sobre) e mesmo assim os níveis registrados não apresentaram um padrão de comportamento distinto.

Considerando as características evidenciadas, buscou-se estudar o possível efeito da silvicultura do PE, em comparação com a VN, a partir de uma análise comparativa dos valores de recarga dos dois usos do solo. Analisados desta forma, verificou-se que os valores de recarga dos piezômetros 9 e 2 foram de 2,68 m e 2,75 m, (em VN e PE, respectivamente). Apesar do Δh do piezômetro 9 (8,46 m) ter sido maior que o 2 (8 m), no cômputo final a VN teve menor elevação do nível do lençol. A diferença entre a macroporosidade dos dois poços (9 com 0,34

$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ e 2 com $0,32 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) pode explicar estes resultados. Baumhardt (2014), explica que neste caso há mais espaço (macroporosidade) para absorção de água.

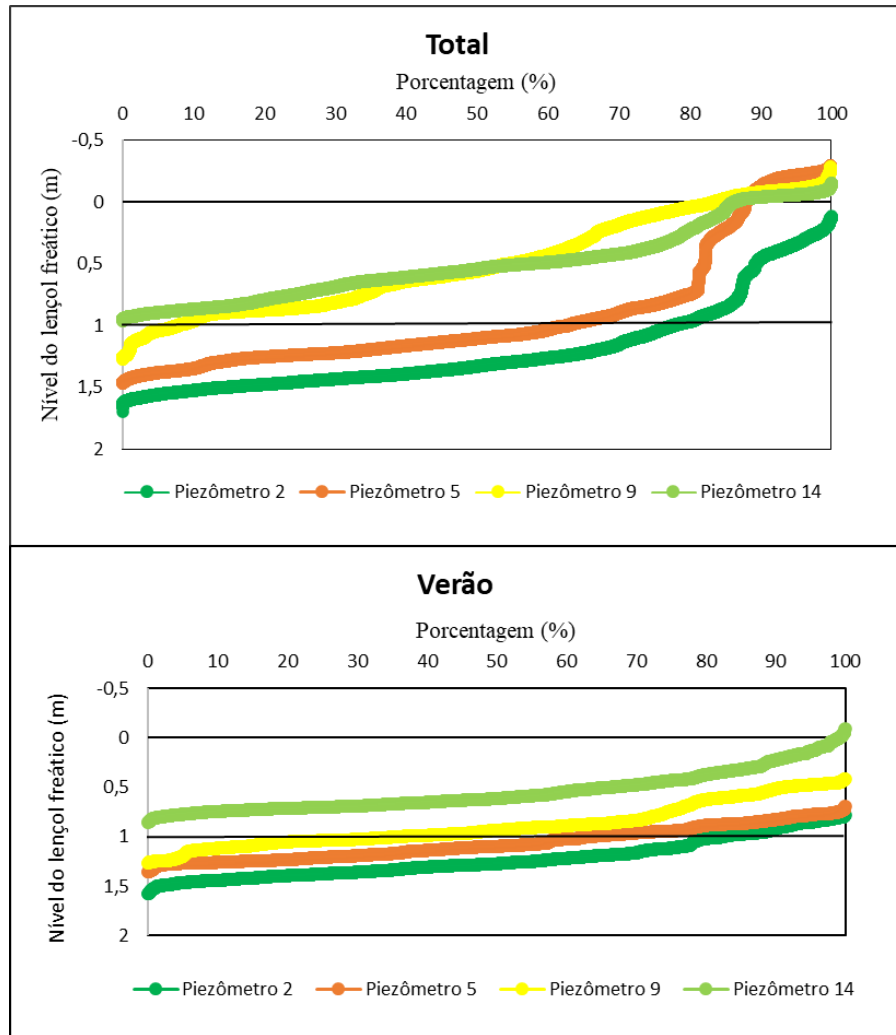
Os dados coletados no piezômetro 5 em VN foram o segundo maior valor de recarga com 3,07 m, semelhante ao piezômetro 14 com 3,82 m sob silvicultura de PE, que foi o maior valor encontrado. Além disso, no piezômetro 14 foram registrados os maiores valores de ΔH e $S_y\%$. Estes resultados são opostos aos resultados e tendências (BENYON et al., 2007); CALDATO; SHUMACHER, 2013) de que a evapotranspiração e a interceptação da precipitação causados pela vegetação reduzem a recarga de água no solo. Sobre este fato, o estudo de Zimmermann et al. (2006) ressalta que, em alguns casos, as áreas com floresta possuem maiores valores de infiltração em relação à pastagem. Isto seria por conta do efeito residual do histórico de uso da área em relação às propriedades hidráulicas (capilaridade e macroporosidade) do solo.

Dentre as propriedades hidráulicas do solo a curva de permanência da água poderia auxiliar no entendimento dos resultados deste estudo. Estas curvas demonstram a distribuição percentual dos níveis de cota do lençol freático e possibilitam afirmar (IRITANI; EZAKI, 2010) que a profundidade do nível d'água varia ao longo do ano, em função da variação sazonal da precipitação. Ou seja, em períodos chuvosos a infiltração e o nível da água se elevam em contraposição aos períodos de estiagem, com mais perda de água para o ambiente.

As curvas de permanência total calculadas para os piezômetros em PE resultaram em 10% de valores negativos para o 14 e, por outro lado, o poço 2 (PE) não atingiu a marca de nível negativo, dentro desse mesmo período, oscilando até no máximo a 0,5 metros. Para os piezômetros em VN (5 e 9), apresentaram valores negativos que ultrapassam 10% do tempo nos piezômetros.

De acordo com Jarosz et al. (2008), a zona de influência das raízes para a absorção de água subterrânea do *Pinus pinaster* Ait. é de um metro de profundidade. Utilizando este valor para o PE e seu potencial efeito neste perfil para a VN, observa-se que os piezômetros com sensor de monitoramento (9, 5, 2 e 14) permaneceram 90%, 40%, 20% e 100% do tempo (período de estudo) com o lençol freático dentro desta marca durante o período chuvoso (Figura 5).

Figura 5 - Curva de Permanência Total e para o Verão para os piezômetros 2, 5, 9 e 14



A mesma análise no período de verão, menor precipitação (de acordo com o medido) a curva de retenção do piezômetro 14 em PE manteve-se durante 100% do período de estudo acima de 1 m de profundidade. Os piezômetros 9, 5 e 2 mantiveram-se dentro deste nível por 70%, 30% e 20% do tempo, respectivamente.

B.4 DISCUSSÃO GERAL

A profundidade média do lençol freático no transecto instalado na área de estudo é de 0,8 m e encontra-se dentro da camada geralmente explorada para obtenção de água pelas raízes das árvores de PE. Entretanto, os resultados comparativos entre as áreas com PE e com VN não apresentaram comportamentos diferentes. Ou seja, as áreas com PE apresentaram características de nível de lençol freático, recarga de água subterrânea e curva de retenção de

água semelhantes tanto nos valores quanto na variabilidade. Deste modo, no caso deste estudo não foi possível identificar os efeitos da silvicultura com PE em comparação com a VN para os parâmetros avaliados.

Uma proposta para explicar estes resultados reúne as características do lençol freático (superficial com 0,8 m em média), a alta macroporosidade do Neossolo Quartzarênico ($0,345 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ em PE e em VN $0,32 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) e a precipitação média da região de estudo, do seguinte modo: se considerarmos que a camada de solo acima do nível do lençol freático é de 0,8 m e a precipitação média da região é de 1.180 mm à 1.426 mm, percebe-se que “não há solo suficiente” com capacidade de campo para absorver o volume da precipitação que tenderá, em alguns períodos, a superar o nível do solo. Soma-se a esta situação a alta porosidade de um solo altamente arenoso que permite a movimentação e distribuição lateral da água. No estudo de Pasini et al. (2022) a lagoa representou um receptor do fluxo do aquífero, atuando como regulador do nível de base do fluxo subterrâneo do seu entorno. Neste trabalho o transecto de 4 km está situado entre o Oceano Atlântico e a Lagoa Mangueira, e ambos são os receptores do fluxo do aquífero atuando como niveladores do nível de base. Neste contexto, a demanda de água da silvicultura de PE, estimada em 1.300 mm por ano (LIMA et al., (1990), não alterou o nivelamento do lençol freático ou o fluxo subterrâneo da água na área de estudo.

B.5 CONCLUSÕES

A profundidade média do lençol freático no transecto da área de estudo é de 0,8 m de profundidade (máximo de 1,98 m, mínimo de -0,25 m e desvio padrão de 0,52 m), sendo que para os piezômetros em PE os valores foram de máximo de 1,98 m, mínimo de -0,17 m e desvio padrão de 8,24 cm e em VN máximo de 1,58 m, mínimo de -0,25 m e desvio padrão de 7,05 cm.

A recarga bruta calculada para VN foi de 3,07 e 2,68 e para PE foi de 2,75 e 3,82. Já as curvas de permanência para os piezômetros instalados ficaram boa parte do tempo acima da marca de 1 metro de profundidade em ambos os usos do solo. Com isso, apresentando resultados semelhantes para PE e VN.

A partir dos resultados encontrados neste trabalho durante o período de estudo, não foi identificado rebaixamento do nível do lençol freático ou alteração da curva de permanência da água no solo nas áreas com 36 anos de silvicultura de *Pinus elliottii* Engelm comparativamente à vegetação nativa da Planície Costeira no Litoral Sul do RS.

REFERÊNCIAS

- ALA-AHO, P.; ROSSI, P. M.; KLØVE, B. Estimation of temporal and spatial variations in groundwater recharge in unconfined sand aquifers using Scots pine inventories. **Hydrology and Earth System Science**, Munique, v. 19, n. 4, p. 1961-1976, jul. 2015.
- ALVARES, A. C. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s.l.], v. 22, n. 6, p.711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart.
<http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- BARRETO, C. E. A. G.; GOMES, L. H.; WENDLAND, E. C. Balanço hídrico em zona de afloramento do sistema aquífero guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa. In: **CONGRESSO, 2010**.
- BAUMHARDT, E. **Hidrologia de bacia de cabeceira com eucaliptocultura e campo nativo na região da campanha gaúcha**. Tese doutorado. Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2014.
- BAUMHARDT, E.; MAZIERO, E.; TOMIOSSO, M. F., CRUZ, J.C.; HORN, J.F. INFLUÊNCIA DA MARÉ BAROMÉTRICA NOS DADOS DE COTA PARA MONITORAMENTO DE PEQUENAS BACIAS. **XIV IWRA Congresso Mundial da Água** (2011).
- BENYON, R. et al. Tree water use in forestry compared to other dry-land agricultural crops in the Victorian context: report prepared for the Department of Primary Industries Victoria to promote scientific knowledge in this area. Victória, 2007. 50 p. (**Ensis Technical Report, 159**).
- BRASIL/MMA. (2007). Ministério do Meio Ambiente (MMA). Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização - **Portaria MMA n°9, de 23 de janeiro de 2007**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas.
- CALDATO, S. L.; SHUMACHER, M. V. O USO DE ÁGUA PELAS PLANTAÇÕES FLORESTAIS – UMA REVISÃO. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 507-516, jul.-set., 2013, ISSN 0103-9954.
- CONSEMA – CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (Estado). Constituição (2018). **Resolução n° 390**, de 06 de dezembro de 2018. Porto Alegre, RS.
- DAMBRÓS, C.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. **Recarga e flutuação do nível da água subterrânea em sub-bacias hidrográficas com floresta e campo nativo**. **GEOGRAFIA**, Rio Claro, v. 39, n. 2, p. 363-382, mai./ago. 2014.
- EMBRAPA. 2006. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA (ed.). Rio de Janeiro, 2ed., 306 p.
- EMBRAPA. 2009. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA. Rio de Janeiro.

FRITZEN, R. R. **Análise comportamental e de recarga de aquífero livre na área urbana de Frederico Westphalen (RS)**. 2016. 77 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen. 2016.

GARCIA E. **Subsídios à conservação de campos no norte da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil**. Tese de doutorado, PPG Botânica, UFRGS, Porto Alegre, p. 110. 2005.

GIANUCA, K. S. **Aspectos sócio econômicos e ambientais da exploração de Pinus sp. no município de São José do Norte e análise das alterações na paisagem em áreas adjacentes aos plantios na região do Estreito entre os anos 1964 e 2007**. Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande, RS. 152 p. 2009.

GOUVÊA, T. H. **Análise estatística da influência da precipitação e de características do solo na variação do nível d'água em área de recarga do Aquífero Guarani**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Eng. de São Carlos: USP, São Carlos. 2009.

HEALY, R. W.; COOK, P. G. Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal, Storrs*, v. 10, n. 1, p. 91-109. fev. 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). Dados Históricos. 2023
Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 15 fevereiro. 2023.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **Roteiro orientativo para delimitação de área de proteção de poço**. São Paulo: Instituto Geológico, 2010.

JAROSZ, N. et al. Carbon dioxide and energy flux partitioning between the understorey and the overstorey of a maritime pine forest during a year with reduced soil water availability. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 148, p. 1508-1523, 2008.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B.; LIBARDI, P.L. & SOUZA FILHO, A. P. 1990. Comparative evapotranspiration od Eucalyptus, Pine and Cerrado vegetation measured by the soil water balance method. *IPEF International*, Piracicaba, 1:5-11.

MENEZES, J. P. C. **Influência do uso e ocupação da terra na qualidade da água subterrânea e sua adequação para consumo humano e uso na agricultura**. Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo, ES. 84 p. 2012.

MÜLLER, W. W.; SAATHOFF, F. Geosynthetics in geoenvironmental engineering. [Sci Technol Adv Mater](#). 2015 Jun; 16(3): 034605. Published online 2015 May 8. doi: 10.1088/1468-6996/16/3/034605.

NASCIMENTO, E. A.; BARBOSA, E. G.; REGINATO, P. A. R.; ROSA, M. L. C da C.; BARILI, R. O fluxo da água subterrânea no sistema aquífero costeiro associado aos depósitos

eólicos holocênicos na região do Cassino/RS. **ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, v. 37, n.3, e-30202, 2023. DOI: <http://doi.org/10.14295/ras.v37i3.30202>.

NETO, D. C.; KIANG, C. H. **Aplicação do método de flutuação de nível da água para a estimativa de recarga - exemplo do Aquífero Rio Claro**. Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 39-48. 2008.

PASINI, F.; MANCUSO, M. A.; FORTES, P. R.; BREUNIG, F. M.; FRITZEN, R. R. Recarga de aquífero em Floresta Estacional Decidual nativa, Parque Estadual do Turvo (RS). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 206-232, 2022. DOI 10.5902/1980509847112. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509847112>.

PILLAR, V de P; LANGE, O. **Os campos do sul**. Rede campos Sulinos – UFRGS, Porto Alegre- RS, 2015.13-167 p. 2015.

SENHORINHO, E. M., TROIAN, G. C., & KUHN, I. A. (2021). ESTIMATIVA DE RECARGA PELO MÉTODO WTF (WATER TABLE FLUCTUATION) PARA UM POÇO (RIMAS) MONITORADO POR 5 ANOS EM CAPÃO DA CANOA - RS. **Águas Subterrâneas**. Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29313>.

STRECK, E. V., KÄMPF, N., DALMOLIN, R. S. D., KLAMT, E., NASCIMENTO, P. D., SCHNEIDER, P., & PINTO, L. F. S. (2008). **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS: EMATER/RSASCAR.

VINCK, C.; THIRTY, Y. Water table is a relevant source for water uptake by a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand: Evidences from continuous evapotranspiration and water table monitoring. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam. v. 148, n. 10, p. 1419-1432. set. 2008.

ZAS (ZONEAMENTO AMBIENTAL DA SILVICULTURA). Diretrizes da silvicultura por unidade de paisagem e bacia hidrográfica. Governo do estado do Rio Grande do Sul. **Secretaria do meio ambiente**. Volume II, março de 2010.

ZIMMERMANN, B.; ELSENBEER, H.; DE MORAES, J.M. The influence of land-use changes on soil hydraulic properties: implications for runoff generation. **Forest Ecology and Management**, v. 222, p. 29-38, 2006.

ZWETSCH, A. P. R; **SILVICULTURA DE PINUS ELLIOTTII ENGELM NO LITORAL SUL DO RIO GRANDE DO SUL: EFEITOS NO SOLO E NO LENÇOL FREÁTICO**. 2023. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Agronomia- Agricultura e Ambiente, Frederico Westphalen (RS), 2023. Artigo 1.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

- Efeitos nos atributos físicos e químicos do solo em *Pinus elliottii* em segundo ciclo e área de erradicação, no Neossolo Quartzarênico;
- Realizar novos estudos em diferentes locais, quanto aos aspectos do Neossolo Quartzarênico;
- Para solos arenosos, além da verificação do percentual de argila, o ideal é realizar o mesmo procedimento para teor de areia e silte;
- A acidificação do solo em área de plantio de *Pinus elliottii* pode ser por conta de ácidos úmicos;

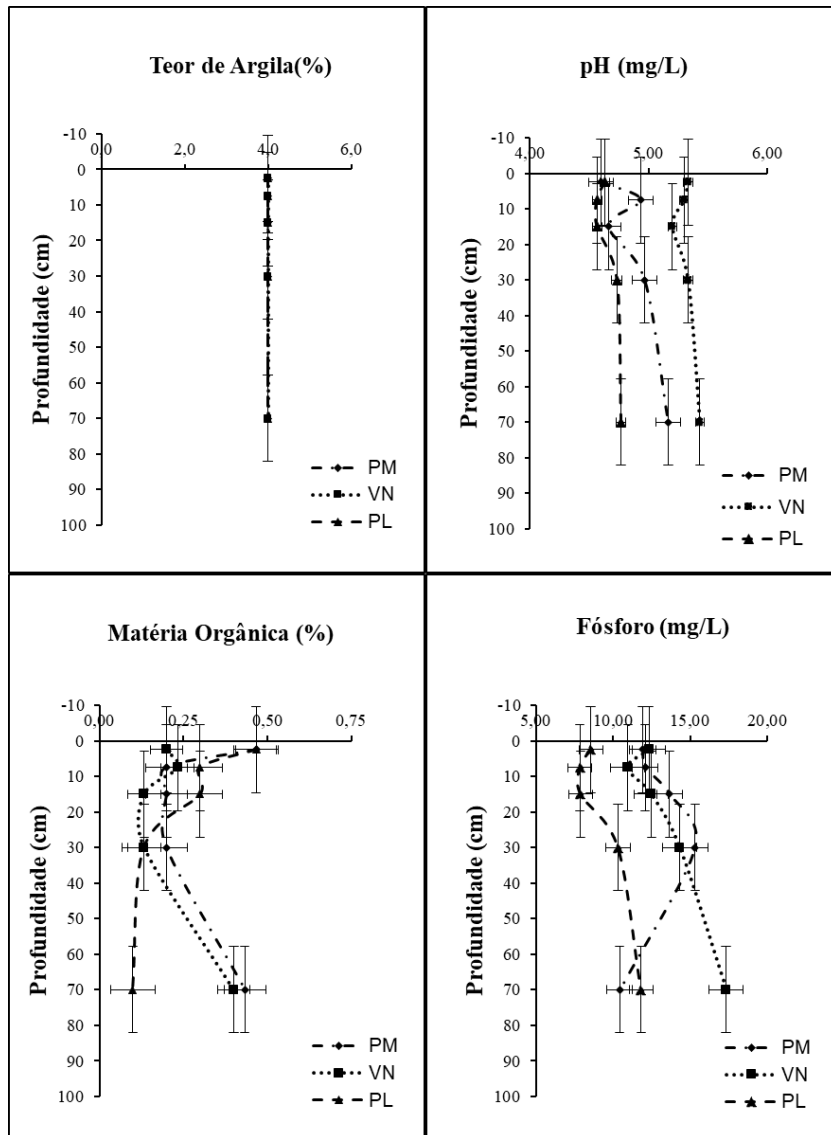
6 CONCLUSÃO GERAL

O presente estudo buscou estudar o efeito da silvicultura de *Pinus elliottii* no litoral sul do Bioma Pampa, a fim de produzir conteúdo sobre o tema em uma área de extrema importância socioeconômica e cultural, além de ser uma zona de amortecimento da ESEC-TAIM.

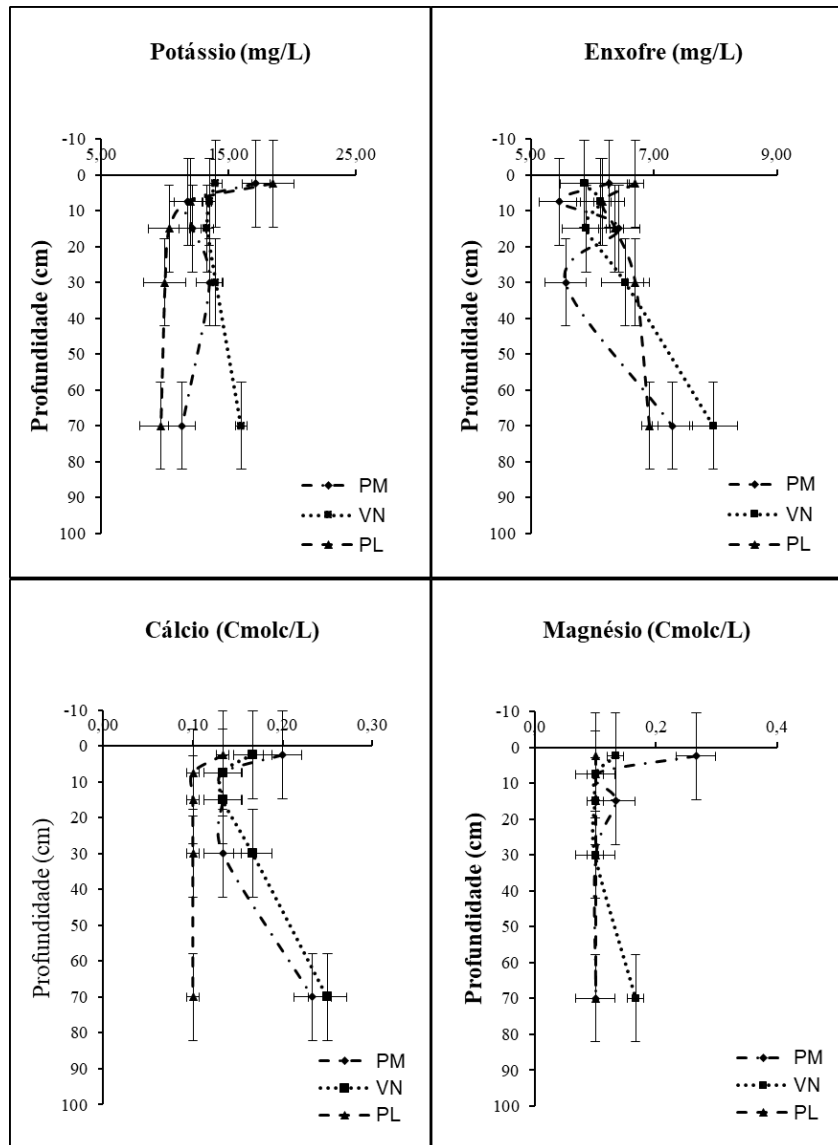
O efeito do *Pinus elliottii* no Neossolo Quartzarênico Hidromórfico Hístico em comparação a vegetação nativa proporcionou diferença significativa para local em relação a macroporosidade do solo, excelente indicador para compactação do solo, com valores positivos para a silvicultura, resultando em mais espaços para absorção e movimentação da água. Além disso os atributos químicos apresentaram diferenças significativas (ANOVA 5%) entre os usos do solo (PM, VN e PL) para a CTC EF, SAT B, SAT Al, Ph, MO, P, Al, Ca, e Z. Diante disso, apesar de ter interações significativas entre os usos do solo, a silvicultura de Pinus proporcionou um efeito positivo ou até não significativo quando comparado a vegetação nativa do local.

Por isso, em relação a comparação da Silvicultura de Pinus de 36 anos com a vegetação nativa da Planície Costeira, foi possível afirmar que não foi identificado rebaixamento do nível do lençol freático ou alteração da curva de permanência, por outro lado, foi identificado entrada de água sub-subterrânea e ou lateral subterrânea na área de estudo aumentando os valores de recarga via método WTF até maiores que a precipitação. Com isso, ainda é possível dizer que neste local o nível do lençol freático é praticamente superficial (média de 0,80 m), com macroporosidade alta facilitando a movimentação do lençol.

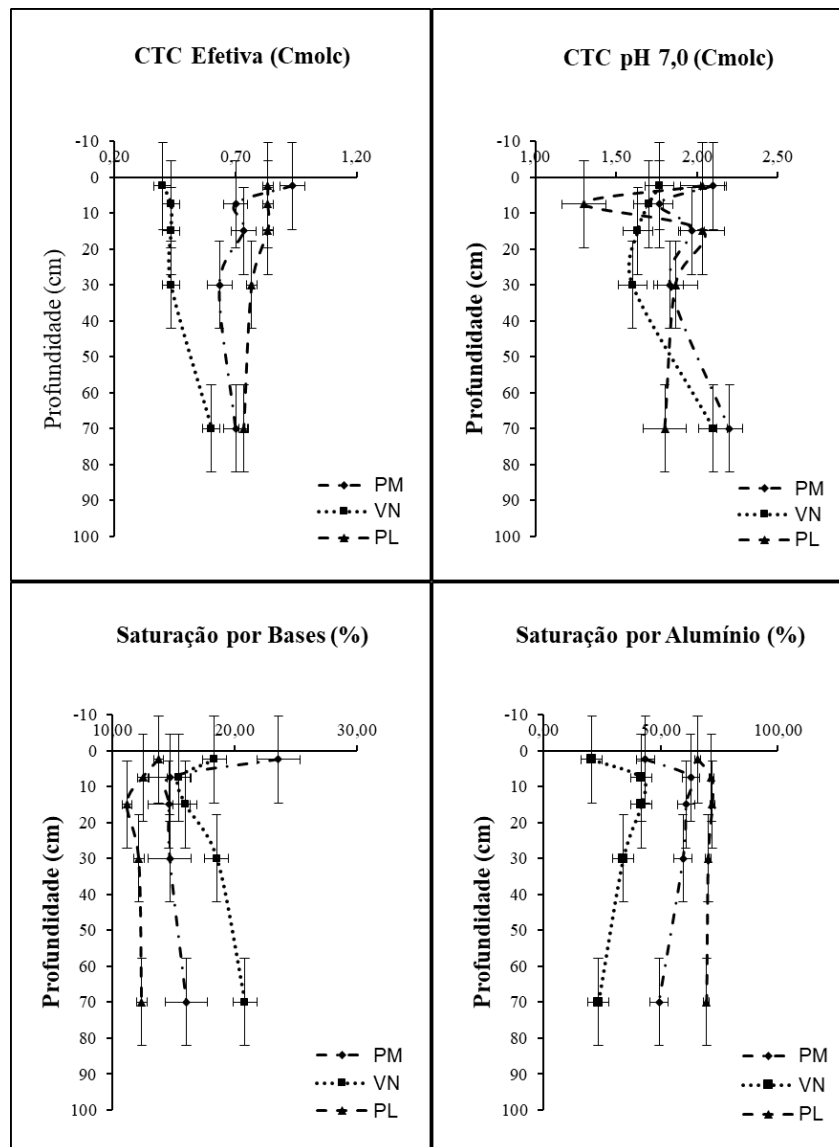
APÊNDICE A - Distribuição dos atributos químicos Teor de argila, pH, MO e P em relação a profundidade do solo e localização



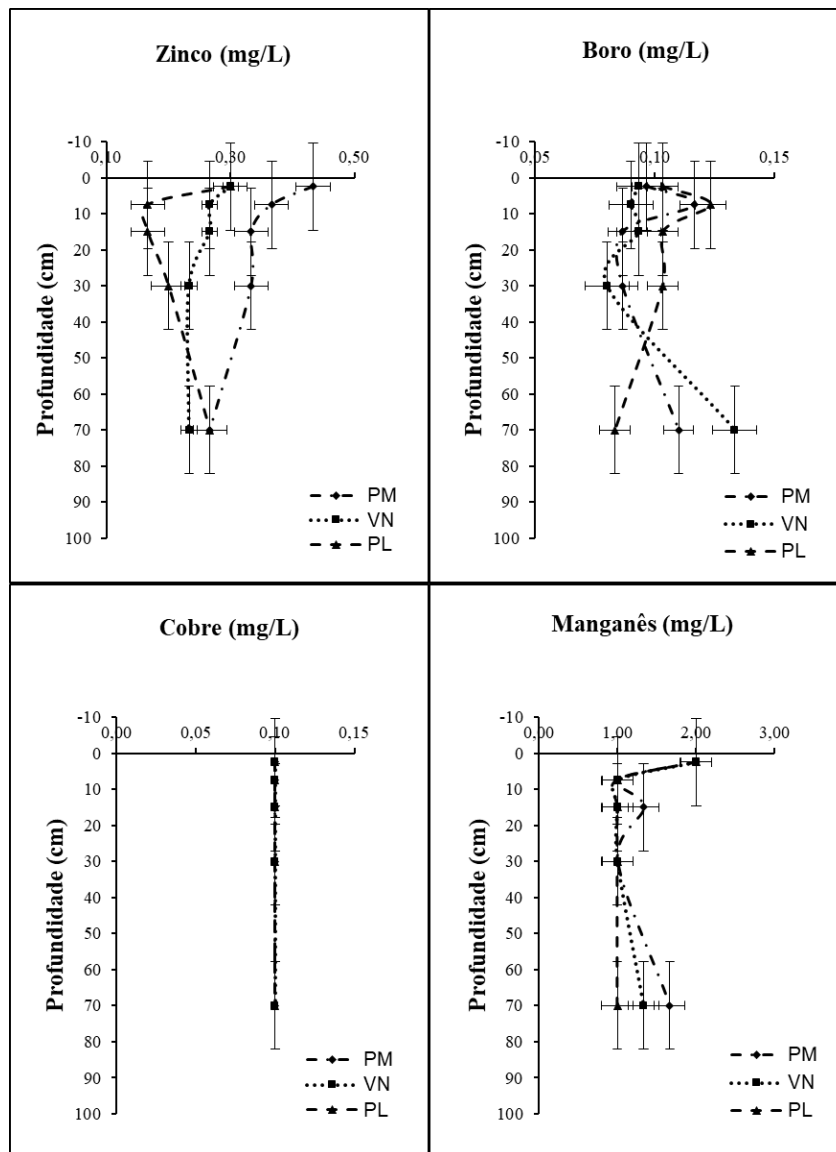
APÊNDICE B - Distribuição dos atributos químicos K, S, Ca e Mg em relação a profundidade do solo e localização



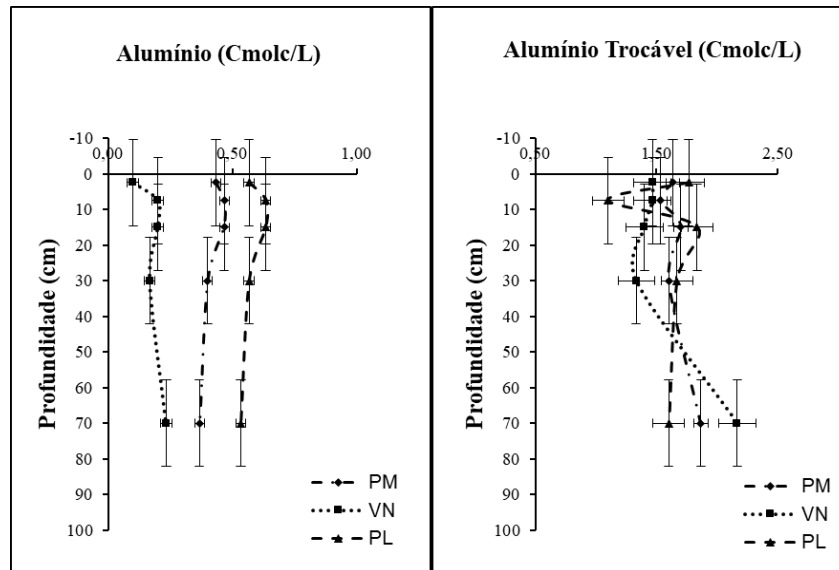
APÊNDICE C - Distribuição dos atributos químicos CTC Efetiva, CTC pH, Saturação por bases e Saturação por alumínio em relação a profundidade do solo e localização



APÊNDICE D - Distribuição dos atributos químicos Z, B, Cu e Mn em relação a profundidade do solo e localização



APÊNDICE E - Distribuição dos atributos químicos Al e Al + H em relação a profundidade do solo e localização



APÊNDICE F - Controle e aferição dos sensores com o medidor de nível (Jacirí)

Identificação	Data	Hora	Pressão Datalogger (Kpa)	Pressão INMET (Kpa)	Off set (m)	Nível (m)	Jacirí (m)
Poço 2	29/04/22	11:44	105,8	102,878	0,52	1,33	1,33
Poço 2	28/12/22	12:20	103,0	100,96	0,52	1,42	1,44
Poço 5	29/04/22	11:50	108,227	102,878	0,52	1,10	1,09
Poço 5	28/12/22	12:32	106,315	100,985	-0,40	1,13	1,16
Poço 9	29/04/22	12:20	114,979	102,878	0,52	0,02	0,01
Poço 9	28/12/22	12:45	100,988	100,88	0,52	0,76	0,77
Poço 14	29/04/22	12:50	109,429	102,878	1,10	0,55	0,50
Poço 14	28/12/22	13:03	106,288	100,88	1,10	0,66	0,61