



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG**

**ICHI** INSTITUTO DE  
CIÊNCIAS HUMANAS  
E DA INFORMAÇÃO

**INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA INFORMAÇÃO – ICHI**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGEO**

**ANÁLISE DE SISTEMAS NATURAIS E AMBIENTAIS**

**EVOLUÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DO PLANTIO DE *PINUS* E  
SEUS EFEITOS NO BALANÇO HÍDRICO NA ILHA DOS  
MARINHEIROS, RIO GRANDE - RS.**

MARIANA DOS SANTOS PASSOS

Rio Grande - RS

MARIANA DOS SANTOS PASSOS

**EVOLUÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DO PLANTIO DE PINUS E SEUS  
EFEITOS NO BALANÇO HÍDRICO NA ILHA DOS MARINHEIROS, RIO  
GRANDE - RS.**

Dissertação de mestrado como requisito para obtenção de título de mestre em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração em Análise de Sistemas Naturais e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Ricardo Castro-Díaz

Rio Grande – RS, 09 de novembro de 2022.

## Ficha Catalográfica

P289e Passos, Mariana dos Santos.  
Evolução espaço temporal do plantio de pinus e seus efeitos no balanço hídrico na Ilha dos Marinheiros, Rio Grande – RS / Mariana dos Santos Passos. – 2022.  
60 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio Grande/RS, 2022.  
Orientador: Dr. Ivan Ricardo Castro-Díaz.

1. Ilha dos Marinheiros 2. Monoculturas 3. Sensoriamento remoto  
4. Balanço hídrico climatológico I. Castro-Díaz, Ivan Ricardo  
II. Título.

CDU 911(816.5RG)

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

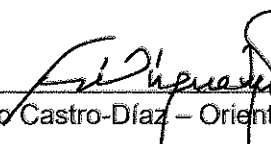


### ATA DE DEFESA DE MESTRADO

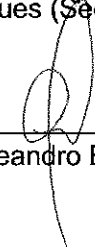
No dia 28 de novembro de 2022, às 16h, realizou-se a defesa da Dissertação de Mestrado do PPGGeo – FURG da discente **Mariana dos Santos Passos** cuja banca, devidamente homologada pela Coordenação do Programa, foi constituída pelos docentes: Prof. Dr. Ivan Ricardo Castro-Díaz (Orientador), Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Daiane da Silva Marques, Prof. Dr. Éder Leandro Bayer Maier e Prof. Dr. Miguel da Guia Albuquerque (suplente). Após a apresentação da dissertação intitulada **"EVOLUÇÃO TEMPORAL/ESPACIAL DO PLANTIO DE PINUS E SEUS EFEITOS NO BALANÇO HÍDRICO NA ILHA DOS MARINHEIROS, RIO GRANDE - RS."** e arguição da banca, foi atribuído o conceito A.....

Observações:

Sobre as orientações da banca, melhorar a escrita e ajustar os produtos cartográficos.

  
Prof. Dr. Ivan Ricardo Castro-Díaz – Orientador (PPGGeo/FURG)

  
Prof.ª Dr.ª Daiane da Silva Marques (Secretaria Municipal de Meio Ambiente – SMMA)

  
Prof. Dr. Éder Leandro Bayer Maier (PPGGeo/FURG)

  
Prof. Dr. Miguel da Guia Albuquerque (IFRS/PPGGeo/FURG)

## Banca examinadora

Orientador:

---

Dr. Ivan Ricardo Castro-Díaz

Universidade Federal do Rio Grande – FURG

Instituto de Ciências Humanas e da Informação – ICHI

Banca:

---

Dr. Éder Leandro Bayer Maier

Universidade Federal do Rio Grande – FURG

Instituto de Ciências Humanas e da Informação – ICHI

---

Dr<sup>a</sup>. Daiane da Silva Marques

Secretaria Municipal de Meio Ambiente – SMMA

Prefeitura Municipal de Rio Grande – PMRG

*“Agora permanecem a fé, a esperança e o amor, essas três coisas. A maior delas é o amor ”*

*Coríntios 13:13*

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer ao Universo, pela conjuntura cósmica de estar no lugar onde estou vivenciando todas estas experiências. Agradecer a minha família, meus pais, Ben-hur e Rosane, por todo apoio, amor e incentivo incondicional, sem eles nada seria possível, amo vocês. Aos meus familiares e amigos que se abstiveram da minha presença, compreendendo minhas escolhas e me apoiando.

Agradecer ao meu companheiro, amigo, marido e parceiro de vida Roberto, meu porto seguro, quem sempre teve palavras de apoio e incentivo quando tudo parecia perdido ou quando nada fazia sentido. Ele sempre esteve lá para me apoiar, me dar um norte e todo o suporte emocional e científico. Este momento é tão teu quanto meu. Te amo.

Agradecer ao PPGGeo – FURG, pela oportunidade de dar continuidade a minha trajetória academia. A todos os professores que contribuirão na minha formação e pensamento crítico. Todos tiveram significativa importância na minha vida. Ao meu orientador, prof. Ricardo, por sempre ter palavras de incentivo, motivação, mesmo quando pensei em desistir. A coordenação e colegiado do PPGGeo, por toda humanidade e compreensão nestes dois anos e meio de mestrado/pandemia.

A todos meus amigos que fiz ao longo destes anos de graduação e pós-graduação, pela parceria nesta reta final, compreensão e pelos momentos de confraternização ao longo deste percurso. Rir com todos vocês foi, é e sempre será o melhor remédio. Obrigada por tudo.

Aos membros da banca, pela paciência e disponibilidade em participar, tanto da qualificação quanto na defesa, mesmo quando estive em condições atípicas por motivos familiares, foram compreensivos, colaborativos e propositivos, gratidão por fazerem parte deste momento. E a Universidade Federal do Rio Grande, com seus servidores, por toda contribuição em minha formação, tanto acadêmica quanto humana e profissional desde 2011, continuará sempre sendo um local de grande importância na minha vida. Gratidão.

## RESUMO

O incentivo de plantios de espécies florestais como *pinus* foi muito disseminada ao longo dos anos 80, parte dos motivos para tal é o retorno monetário de áreas até então não agriculturáveis aos seus proprietários, assim como seus subprodutos como o reflorestamento de áreas pioneiras. A falta de estudos que abordassem os possíveis impactos que estas espécies exóticas poderiam causar nas unidades ecossistêmicas como a Planície Costeira do Rio Grande do Sul, fez com que estes plantios fossem amplamente disseminados na década de 1980. A Ilha dos Marinheiros em Rio Grande, foi um destes locais onde foram incentivados a prospecção destes plantios, visando a produtividade sobre as áreas de dunas vivas, locais até então não explorados para produções agrícolas pelos moradores da ilha. A falta de informações que periodizassem e determinassem a extensão destas monoculturas na ilha justificam o presente trabalho, a fim de traçar a linha espaço-temporal de evolução dos plantios na Ilha dos Marinheiros. Para tal, foram realizadas análises sobre o índice de diferença de vegetação normalizada, em um conjunto de sete imagens do satélite LANDSAT, de resolução espacial 30m de 1985 até 2014, com intervalos de cinco anos e uma imagem do satélite CEBERS, de 2020 com resolução de 16m. A partir destas análises foi possível determinar a linha temporal do início do plantio em meados de 1985, seu ápice entre 1995 e 2001, e o término, com o início do processo de extração em 2005, com poucos resquícios em 2009, e total extração aparente em 2014. A fim de mensurar o impacto que os plantios de *pinus* causaram na disponibilidade de água da ilha, foi realizada uma simulação disponibilidade hídrica através de balanços hídricos climatológicos, onde foram levados em conta índices de precipitação, evapotranspiração, considerando as áreas de plantio de *pinus* na ilha. Através desta simulação foi possível ter uma estimativa deste impacto, onde para os cenários de precipitação média e mínima ocorreram déficits hídricos consideráveis. O que corrobora o impacto que os plantios causam na água disponível, desequilibrando o ecossistema e afetando o suprimento aos moradores.

Palavras-chave: Ilha dos Marinheiros, monoculturas, Sensoriamento Remoto, balanço hídrico climatológico.



## Abstract

Growing species native to forests such as the pinus has been well incentivized over the years, part of the reason for this is the monetary return of regions which up until then weren't arable to their owners, as well as their subproducts like the reforestation of pioneering areas. The lack of studies tackling the possible impacts which these exotic species could cause in ecosystemic units such as the Coastal Plains of Rio Grande do Sul, caused these plantations to be widely disseminated in the 1980s. Ilha dos Marinheiros in Rio Grande, was one of the places which were incentivized to grow these plantations, aiming to raise productivity over the regions of living dunes, places which up until then weren't explored for agricultural purposes by the citizens of the island. The lack of information periodizing and determining the extension of these monocultures in the island justifying the present study, aiming to trace a special-timeline of the evolution of plantations in IM. To accomplish such goals, we performed analyses on the rates of difference in normalized vegetation in a set of seven images from the LANDSAT satellite, with a spatial resolution of 30m from 1985 to 2014, with intervals of five years and one image from the CEBERS satellite, from 2020 with a resolution of 16m. From these analyses we were able to determine the timeline of the start of the plantation in the midst of 1985, its peak being between 1995 and 2001, and its end, with the beginning of the extraction process in 2005, with few leftovers in 2009, and total apparent extraction in 2014. In order to measure the impact which, the pinus plantations caused in the supply of water in the island, we conducted a simulation of hydric availability through climatological hydric balance, where we took into account rates of precipitation, evapotranspiration, taking into account the pinus plantation areas in the island. Through this simulation it was possible to acquire a notion of the impact, where for scenarios of medium and minimum precipitation there were considerable hydric deficits. Which corroborate the impact which the plantations had on the water supply, upsetting the ecosystem and affecting the supply of the citizens of the island.

Keywords: Ilha dos Marinheiros, monocultures, Remote Sensing, climatological hydric balance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Mapa de Localização da Ilha dos Marinheiros - Rio Grande/RS.	14
Figura 2:	Gráfico da População IM	15
Figura 3:	Foto aérea das pontes que ligam a IM ao continente.	16
Figura 4:	Foto de pequenas lagoas entre dunas.	18
Figura 5:	Mapa simplificado dos sistemas deposicionais da Planície Costeira do RS	19
Figura 6:	Mapa de Solos e Capacidade de Uso da Terra	20
Figura 7:	Foto de visão para área central da IM.	21
Figura 8:	Foto de área de cultivo nos terraços lagunares.	22
Figura 9:	Total Anual de Precipitação em Rio Grande	23
Figura 10:	Foto mostrando marismas e matas brejosas.	24
Figura 11:	Foto de colhereiros em um ninhal na IM.	25
Figura 12:	Foto aérea de <i>drone</i> mostrando dunas vivas a esquerda da foto.	25
Figura 13:	Foto mostrando dunas vegetas	26
Figura 14:	Foto tirada em saída de campo, mostrando a Lagoa do Rei no Camping Kioski.	27
Figura 15:	Saída de campo realizada em 13/03/2020	28
Figura 16:	Foto de um bosque na IM.	29
Figura 17:	NDVI 1 (LAND SAT 11/04/1985)	40
Figura 18:	NDVI 2 (LAND SAT 11/05/19950)	40
Figura 19:	NDVI 3 (09/05/1995)	40
Figura 20:	NDVI 4 (25/05/2001)	40
Figura 21:	NDVI 5 (LAND SAT 04/05/2005)	43
Figura 22:	NDVI 6 (LAND SAT 29/04/2009)	43
Figura 23:	NDVI 7 (LAND SAT 27/04/2014)	43
Figura 24:	NDVI 8 (CBERS4a 08/05/2020)	43
Figura 25:	Mapa Análise NDVI 8, Dados de Campo, Bosques antigos e atuais de <i>pinus</i> .	46
Figura 26:	Análise de índices de vegetação através do NDVI sobre as áreas de cultivos	47
Figura 27:	BHCN 1 Simples	49
Figura 28:	BHCN 1 Completo	49
Figura 29:	BHCN 2 Simples	51
Figura 30:	BHCN 2 Completo	51
Figura 31:	BHCN 3 Simples	52
Figura 32:	BHCN 3 Completo	52
Figura 33:	BHCN 4 Simples	53
Figura 34:	BHCN 4 Completo	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Principais definições sobre Serviços Ecológicos e Ambientais.....	30
Tabela 2:	Legenda de Classificação de quantidade de exemplares de <i>pinus</i> .....	32
Tabela 4:	Valores médios da profundidade dos sistemas radiculares.....	36
Tabela 5:	BHCN 1.....	49
Tabela 6:	BHCN 2.....	50
Tabela 7:	BHCN 3.....	52
Tabela 8:	BHCN 4.....	53

## LISTA DE EQUAÇÕES

<i>Equação 1:</i>	NDVI.....	33
<i>Tabela 3:</i>	Interpretação das escalas NDVI .....	34
<i>Equação 2:</i>	Varição de Armazenamento de água no solo. ....	35
<i>Equação 3:</i>	$\Delta$ ARM simplificada.....	35
<i>Equação 4:</i>	CAD a partir das características físico-hídricas.....	36
<i>Equação 5:</i>	CAD a partir das características gerais do solo .....	36
<i>Equação 6:</i>	ETP método de Thorntwaite .....	37
<i>Equação 7:</i>	Fator de ajuste em função da latitude e mês do ano ( <i>f</i> ) .....	37
<i>Equação 8:</i>	Índice de calor anual (I) .....	37
<i>Equação 9:</i>	Função cubica do índice de calor anual (a) .....	38
<i>Equação 10:</i>	Reposição de água no solo (Nac) .....	38
<i>Equação 11:</i>	Retirada de água do solo (ARM).....	38

## LISTA DE SIGLAS

ARM	Armazenamento de água no solo
BH	Balanço hídrico
BHC	Balanço hídrico climatológico
BHCN	Balanço hídrico climatológico normal
CAD	Capacidade de água disponível no solo
ETP	Evapotranspiração
FLOPAL	Florestadora Palmares LTDA
IM	Ilha dos Marinheiros
Nac	Reposição de água no solo Normalized difference vegetation index
NDVI	Índice de diferença de vegetação normalizada
P	Precipitação, chuva.
PMA	Plano de manejo ambiental
RG	Rio Grande
RS	Rio Grande do Sul
SA	Serviços ambientais
SE	Serviços ecossistêmicos
SIG	Sistema de informações geográficas
SR	Sensoriamento Remoto

## Sumário

RESUMO .....	6
ABSTRACT .....	7
LISTA DE EQUAÇÕES .....	10
LISTA DE SIGLAS.....	10
1. INTRODUÇÃO .....	12
1.1. ÁREA DE ESTUDO .....	14
1.2. JUSTIFICATIVA.....	17
1.3. OBJETIVO .....	17
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
2. REFERENCIAL GEOGRÁFICO.....	18
2.1. SISTEMA LAGUNA-BARREIRA .....	18
2.2. SOLOS.....	20
2.3. PRECIPITAÇÃO.....	22
2.4. BIODIVERSIDADE.....	23
2.5. MONOCULTURA DE <i>PINUS</i> .....	28
2.6. SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS E AMBIENTAIS .....	30
2.7. SIMULAÇÃO DE BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO .....	31
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	32
3.1. OBTENÇÃO DOS DADOS DE CAMPO.....	32
3.2. OBTENÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE .....	33
3.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DE SENSORIAMENTO REMOTO .....	33
3.4. SIMULAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO NORMAL .....	34
4. RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	39
4.1. DIMENSÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS MONOCULTURAS NO INTERIOR DA IM .....	39
4.2. CRUZAMENTO DAS ANÁLISES NDVI COM OS DADOS DE CAMPO .....	46
4.3. ANÁLISE DE ÍNDICES NDVI SOBRE AS ÁREAS DE CULTIVOS .....	47
4.4. SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO NORMAL .....	48
4.4.1. CENÁRIO 1: SIMULAÇÃO DO BHCN 1990-2014.....	49
4.4.2. CENÁRIO 2: SIMULAÇÃO DO BHCN (1993) ANO MÉDIO.....	50
4.4.3. CENÁRIO 3: SIMULAÇÃO DO BHCN (1996) ANO DE DÉFICIT.....	51
4.4.4. CENÁRIO 4: SIMULAÇÃO DO BHCN (2002) ANO DE SUPERÁVIT .....	53
5. CONCLUSÕES.....	55
6. REFERENCIAS.....	57

## 1. INTRODUÇÃO

A busca por métodos extrativista foi uma forte tendência no século passado, objetivando o desenvolvimento econômico e social, porém sem à devida observação de aspectos relacionados as alternativas tecnológicas que causem menor impacto ambiental. Do ponto de vista da evolução das relações extrativistas, é cada vez mais presente no plano estratégico de desenvolvimento de diversos países, um olhar muito mais criterioso sobre os aspectos relacionados a exploração dos recursos naturais e os possíveis impactos de sua gestão e exploração. Neste estudo será realizado um levantamento da silvicultura, relacionando sua evolução espaço-temporal com sua repercussão perante as variáveis físico-geográficas num sítio de exploração específico, a Ilha dos Marinheiros (IM) em Rio Grande (RG), no Rio Grande do Sul (RS).

Os processos de incentivo a silvicultura surgem no Brasil na década de 30, como a prospecção a monocultura perene de espécies arbóreas de “reflorestamento”. O baixo desenvolvimento e lenta capacidade de atualização em relações as melhores práticas, conhecimentos técnicos e as possíveis implicações, gerando a necessidade de implementar estratégias territoriais.

Nos anos 80, o Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal é colocado em vigor, tornando-se subsídio a implementação de áreas de monoculturas de diferentes espécies de *pinus* pelo país (Embrapa, 2008). Visando o lucro econômico e produtividade de áreas até então não utilizadas, parte dos moradores da IM em RG foi incentivada a prospectar estes plantios.

Foram realizados plantios de *pinus* nas áreas de dunas vivas no interior da ilha, sem uma avaliação dos possíveis impactos sociais, ambientais e as colateralidades desses aspectos. A inserção de espécies exóticas provenientes da América do Norte na planície Costeira do Rio Grande do Sul, pode repercutir em alterações em um ecossistema sensível e com tantas diferenças do ponto de vista geográfico e das variáveis geofísicas.

Sem a real mensuração dos aspectos e efeitos negativos no *habitat*, o ciclo da monocultura de *pinus* teve uma evolução espaço-temporal que influenciou nos serviços ambientais e ecossistêmicos da IM. Durante este período a IM não possuía uma lei, ordenamento ou amparo jurídico ambiental que questionasse

estas proposições e demonstrasse sobre os possíveis impactos, de curto e longo prazo.

Devido a ocorrência de um incêndio na IM, justamente devido ao fato ter ocorrido no local da monocultura de *pinus*, foram levantadas pelo Ministério Público as implicações socioambientais da atuação da empresa Florestadora Palmares LTDA (FLOPAL) na localidade supracitada. Sendo assim, foi dada a celeridade do Inquérito Civil, a fim de responsabilizar a empresa pelo dano ambiental e pela calamidade social, proveniente da destruição de galpões, casas e as plantações de subsistência, sobre 20 a 30% de toda área da IM.

Dos trâmites e decisões do inquérito civil, foi proposto um Termo de Ajustamento de Conduta (fls. 348/354), com uma oportunidade em que a empresa investigada assumiu o compromisso de promover a remoção da espécie invasora *pinus*, mediante a elaboração de Plano de Manejo. Bem como a obrigação de apoiar projetos de educação ambiental e custear duas análises da água servida aos moradores da IM. Além de pagar o valor de R\$ 30.000,00 (trinta mil reais), a título de indenização, ao Fundo Municipal de Saúde, para colaborar com as obras de reforma e ampliação da unidade básica de saúde da referida localidade.

A celeridade do tempo, a presença de uma comunidade acadêmica fortalecida de dentro da cidade de RG, o andamento do termo de ajustamento de conduta e de suas demandas, foram viabilizados os recursos para elaboração do Plano de Manejo. Materializado no ano 2006, via Universidade Federal do Rio Grande – FURG, através do Programa Costa Sul, o primeiro Plano de Manejo Ambiental (PMA) da IM. Dentre as principais requisições feitas pela comunidade e pesquisadores, a remoção dos *pinus* e a proibição de novas plantações, juntamente com as outras aplicações do termo de ajustamento de conduta em paralelo, foram assinaladas como positivas e propositivas na busca da melhor qualidade ecossistêmica.

O PMA da IM passou por uma revisão em 2019/2020, através do Projeto Costa Sul II, desenvolvido pelo Instituto de Oceanografia (IO) da FURG, que realizou a Revisão do Plano Ambiental Municipal de RG, a fim de atualizar e criar diretrizes para a sua implementação. Nesta revisão, foi definido como um dos pontos importantes o PMA da IM, o levantamento de dados socioambientais

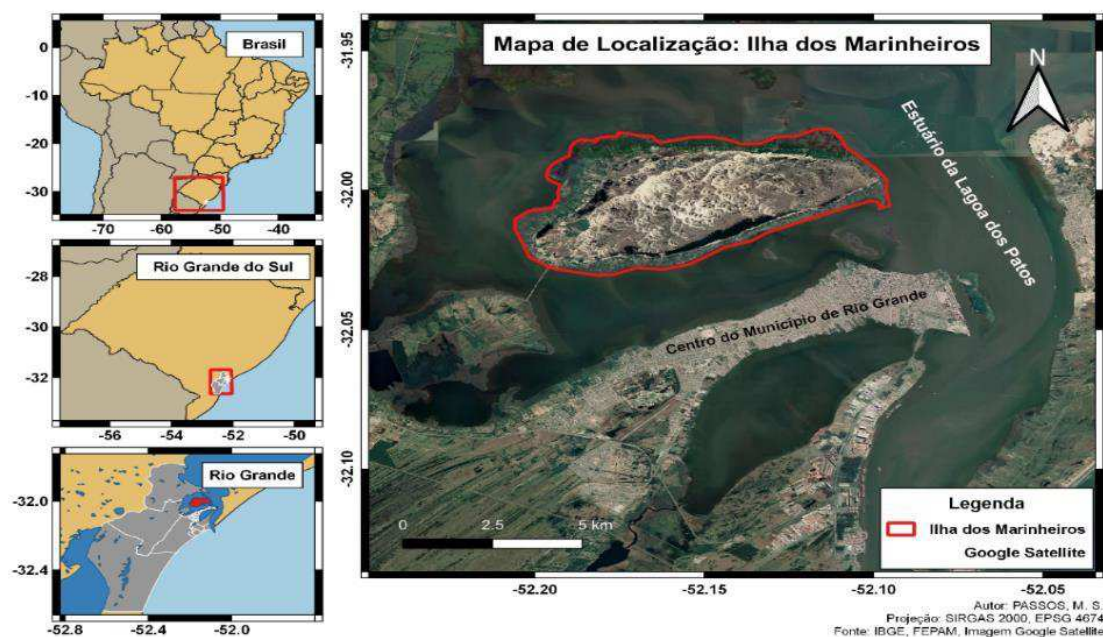
pela aplicação de questionários com os Ilhéus, e o mapeamento da dispersão dos *pinus* na IM.

### 1.1. Área de Estudo

A IM no município de RG – RS, sempre teve um papel fundamental no provimento de alimentos à população do seu entorno desde antes da chegada dos colonizadores, a ocupação pré-colonial característica está relacionada a tradição arqueológica Vieira, Minuanos e Guaranis. Estes povos já ocupavam a IM sazonalmente, devido a abundância de pescado (SHIMITZ, 2011). Os portugueses exploraram inicialmente a extração de madeira, e em 1745 deram início a experiência de cultivo agrícola e da pesca nesta região, junto com sua bagagem cultural (PMA da IM, 2006).

A IM Possui uma área de aproximadamente 40,1 km<sup>2</sup> e está ao extremo sul da Planície Costeira do RS, ficando próxima (via estuário), e a norte do centro do município de RG (ver Figura 1).

Figura 1: Mapa de Localização da Ilha dos Marinheiros - Rio Grande/RS.

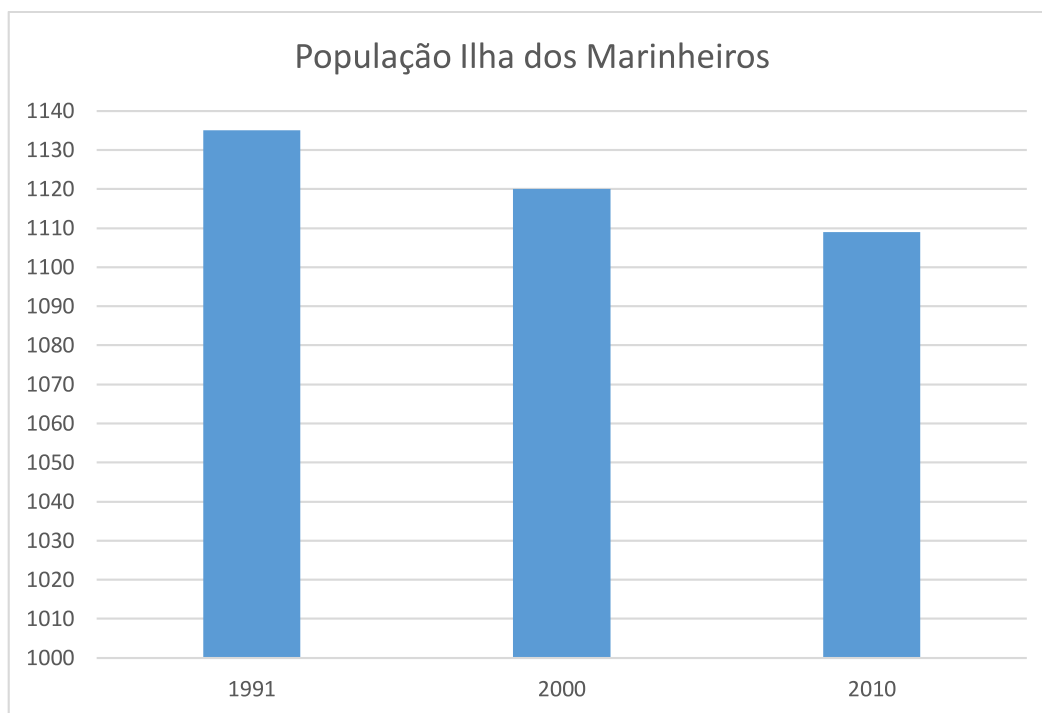


Abriga uma comunidade de pescadores tradicionais e produtores rurais de hortaliças. Possui um ambiente tipicamente rural, sem apresentar grandes infraestruturas públicas, possui uma população residente de aproximadamente 1109 habitantes, com uma tendência de diminuição da população (figura 2)



conforme os levantamentos dos últimos três censos realizados (IBGE, 2010). Também é possível notar uma grande quantia de sítios de lazer, onde os moradores só permanecem aos finais de semana, feriados e férias (Revisão PMA da IM, 2020).

Figura 2: Gráfico da População IM



Fonte: A autora.

A IM é ligada por terra ao continente através de duas pontes em sequência (figura 3), que a conectam a Ilha da Leonídeo, que se liga por outra ponte a região da Quinta, interior do município de RG. Sendo esta sua única ligação por terra, a mesma encontra-se em péssimas condições de conservação. Sem a presença de grandes infraestruturas públicas, a IM possui atualmente um posto de saúde, com horário e fichas de atendimento limitadas, e quatro escolas municipais, sendo três delas escolas de ensino infantil e uma de ensino fundamental. Com relação a infraestruturas particulares de lazer, a ilha possui dois clubes, Libertador e Barulho, que promoviam eventos de futebol, e um camping Kioski, na localidade do Porto Rei, com poucas cabanas, áreas para banhistas e campistas, churrasco e restaurante. Além da presença de alguns bares e mercearias com infraestruturas básicas para atendimento dos ilhéus (Revisão PMA da IM, 2020).

Figura 3: Foto aérea das pontes que ligam a IM ao continente.



Fonte: autor téc. Kahuam Gianuca (19/09/2019)

A IM possui distribuição de rede elétrica através da fornecedora CEEE (Companhia Estadual de Energia Elétrica) Grupo Equatorial, porém não possui distribuição de água e serviços de saneamento básicos. Os ilhéus consomem água de poços artesianos em suas propriedades ou propriedades vizinhas. Com relação ao tratamento de esgoto, o mesmo é destina em fossas sépticas ou descartados sem nenhum tratamento.

Existem alguns estudos promovidos por projetos de extensão da FURG, que abordam a qualidade da água consumida pelos ilhéus, o mais recente foi publicado em 2021 por Castanha *et al.* na Associação Brasileira de Águas Subterrâneas onde abordam sobre a influência do monocultivo de *Pinus sp.* na qualidade da água subterrânea superficial da IM no município de RG.

Este estudo examinou três setores da IM, sendo eles Fundos da Ilha (Área 1), Marambaia (Área 2) e Porto do Rei (Área 3). Destes 3 pontos, a área 2, setor Marambaia a água se apresentou inadequada para o consumo humano, sendo este local uma das antigas áreas de monocultivo e possuir a presença de mata residual. Este local apresenta valores 6 vezes maiores do que o permitido para a presença de ferro na mesma, e além de valores altos para manganês e demanda biológica de oxigênio, além de pH, cor e turbidez fora dos parâmetros de consumo humano.

## **1.2. Justificativa**

Levando em conta os cenários expostos na secção anterior, os serviços ambientais e ecossistêmicos prestados pelas unidades ambientais naturais e antrópicas presentes na IM, assim como a falta de precisão nas informações dos plantios, surge a necessidade da construção de uma evolução espaço-temporal dos mesmos usando Sensoriamento Remoto (SR) e processamento de dados em Sistema de Informações Geográficas (SIG). Estas informações servirão para uma compreensão da distribuição espaço-temporal dos parâmetros geofísicos de interesse no período da análise que será proposta para a IM, de forma a obter estimativas dos impactos nos serviços ambientais e ecossistêmicos.

## **1.3. Objetivo**

Estabelecer a dinâmica de distribuição espaço-temporal das monoculturas de *pinus* na IM, afim de mensurar seus impactos através da simulação de seus efeitos no Balanço Hídrico (BH) na IM.

## **1.4. Objetivos específicos**

- Determinar a dinâmica espaço-temporal dos plantios de *pinus* no interior da IM através de análises por SR, e identificar os produtos cartográficos que evidenciem sua evolução;
- Estabelecer um cruzamento dos dados de SR com os dados de campo, para o reconhecimento de áreas atuais com a presença de espécies remanescentes na IM.
- Determinar o efeito dos plantios no BH em cenários de precipitação distintos para avaliar a viabilidade dos mesmos.

## 2. REFERENCIAL GEOGRÁFICO

O foco desta seção é trazer sucintamente os principais aspectos geográficos e ambientais relevantes aos objetivos da análise proposta neste estudo, para fundamentar a análise e metodologia proposta.

### 2.1. Sistema laguna-barreira

A ilha possui lagoas internas, as mesmas se formam por influência direta pelo fato da ilha ser arenosa, permeável, nível do lençol freático baixo e a frequência das precipitações (Figura 4). Nestas áreas entre dunas, é comum que as cavas entre elas sejam ocupadas por lagoas, que são pontos de afloramento do lençol freático raso ou acúmulo de chuva, e ao que tudo indica, esta área foi deflacionada e/ou áreas que são erodidas. Desta forma se percebe que devido as posições das lagoas em relação a ilha, estas áreas devem ter sido erodidas pelos ventos. (Tomazelli & Villwock, 2000).

Figura 4: Foto de pequenas lagoas entre dunas.



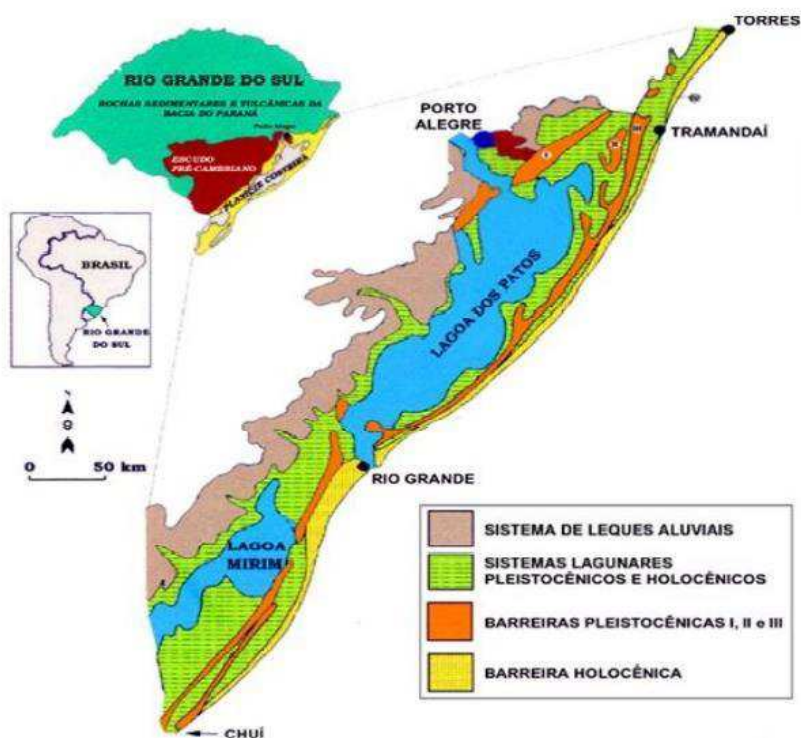
Fonte: A autora (11/10/2019).

A IM encontra-se dentro dos depósitos sedimentares que dão formação à costa do Rio Grande do Sul, que apresenta momentos diferentes da história geológica e paleoclimática. Estas deposições arenosas e sedimentares marinhas que se consignaram em condições próprias associadas a linha de costa e a eventos de clima são chamadas de laguna-barreira. Estas correspondem a períodos diferentes e são separadas em quatro episódios I, II,

III, e IV, do mais antigo para o mais recente (Figura 5), de transgressões e regressões do nível do mar resultantes das variações climáticas causadas por variações periódicas do movimento de translação da Terra entre eras glaciais e eras interglaciais. (Tomazelli & Villwock 2000)

Segundo Tierry Long (1989), a ilha está sobre um pedaço bem consolidado da Barreira III, onde pode-se observar que a mesma é pelo menos quatro vezes mais larga do que a península rio-grandina. A evolução da embocadura da Laguna dos Patos, apontando a origem da IM bem distinta das demais ilhas do estuário, sendo esta, um segmento da barreira III, que delimitou a laguna.

Figura 5: Mapa simplificado dos sistemas deposicionais da Planície Costeira do RS, adaptado de Tomazelli & Villwock (2002)



Fonte: Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo da Bacia Marítima de Pelotas (2016)

Segundo Tierry Long (1989), esta barreira se consolidou e foi formado um hot-spot erosivo, que acabou isolando um segmento da barreira III que constitui o núcleo duro da referida ilha. Posteriormente no seu entorno se desenvolveram os terraços, onde se encontra toda área de cultivo de hortaliças. O núcleo da ilha

seria de origem Pleistocênica e não Holocênica como a península rio-grandina, que é formada na barreira IV, a mais recente geologicamente.

## 2.2. Solos

Segundo o PMA da IM (2006), a ilha apresenta três tipos de solos, sendo a primeira delas e mais abundante as areias quartzosas distróficas (em amarelo na Figura 6), encontram-se por todo centro da IM de leste a oeste. Na classe de uso da terra estas areias correspondem a classe VIII, ou seja, terras sem qualquer potencial agrícola, entretanto foram implementados os plantios de *pinus* nestas regiões, sem levar em conta os valores de seus serviços ambientais, paisagísticos, de recreação, fauna e flora (Figura 7).

Figura 6: Mapa de Solos e Capacidade de Uso da Terra



Fonte: Adaptado Cunha et al. Estudo dos solos do município de Rio Grande (1996)

Figura 7: Foto de visão para área central da IM.



Fonte: A autora (18/10/2019).

Já no noroeste da ilha, (em azul na Figura 6) encontram-se os Gleis Pouco Húmicos Eutróficos, na área do terraço lagunar 3, que representam um solo caracterizado por possuir uma textura arenosa. Esses solos são da Classe V, que incluem os solos não aptos para os cultivos aráveis (com exceção para o arroz irrigado), sendo que sua cobertura vegetal natural de pastos pode ser aprimorada, com considerável esforço, em pastagens de qualidade regular.

Nas áreas marginais a Laguna dos Patos (em cinza na Figura 6) onde ocorrem os terraços lagunares 4 e 5, temos os solos do tipo Solonchak (SK) com textura orgânico-arenosa, e Glei Tiomórfico eutrófico. Este solo possui classe VI, indicando que são terras também não aptas para cultivos aráveis, sendo que estas coberturas naturais de pastos podem ser muito pouco melhoradas.

Pode-se perceber através das classes de capacidade de uso do solo, a IM como um todo não é muito favorável a cultivos aráveis e/ou de potencial agrícola. Entretanto nas áreas de Solonchak de classe VI, os ilhéus utilizam técnicas como cobrimento das terras de pousio com macegas além de utilizarem a adubagem, e irrigação o que permite obter uma produtividade de hortigranjeiros (Figura 8).

Figura 8: Foto de área de cultivo nos terraços lagunares.



Fonte: A autora (18/10/2019).

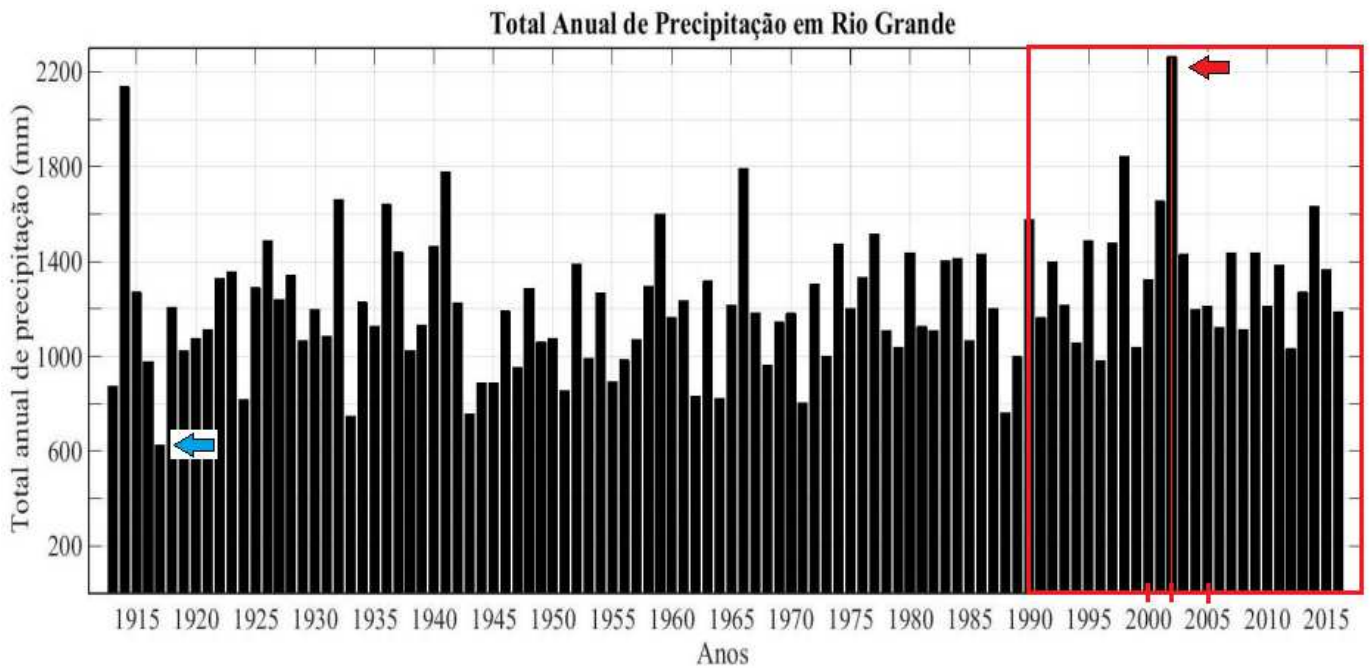
### **2.3. Precipitação**

Segundo Silva (2019), o regime de precipitações em RG não apresenta uma distribuição sazonal, tendo em vista que não foi registrada uma estação chuvosa ou seca. As precipitações são bem distribuídas ao longo do ano e possuem valores anuais com médias de 102 mm, máximas de 551,8 mm e mínimas de 0,3 mm. Com relação as precipitações mensais, estas variam de 71,2mm e 126,7mm.

Para a análise de toda sua série histórica, a autora destaca que o ano de menor precipitação foi de 625mm (seta azul na Figura 9) que está fora do recorte temporal de análise deste trabalho (quadro vermelho na Figura 9), o ano de máxima foi 2.261,9mm (seta vermelha na Figura 9) correspondente ao ano de 2002, e o acúmulo anual médio da série histórica foi de 1.226mm.



Figura 9: Total Anual de Precipitação em Rio Grande



Fonte: adaptado de Silva 2019, página 61.

A referida autora identificou que as variabilidades de precipitação ocorrem com maior frequência no verão e inverno, predominantemente e com influência dos fenômenos El Niño e La Niña. Ela também destaca a relação deste primeiro fenômeno possui uma variação sazonal, sendo o controle do El Niño-Oscilação Sul consolidado na primavera e enfraquecido até o verão.

Outra característica marcante da precipitação apontada por Silva é a frequência e a intensidade dos sistemas frontais. Estes sistemas atmosféricos frontogênicos quando se deslocam entre norte e sul abrem margem para uma maior ou menor atividade frontogênica no município, acarretando em maiores ou menores taxas de precipitação.

## 2.4. Biodiversidade

Tendo um ecossistema costeiro como áreas de formação pioneira, a IM apresenta vários ambientes com certo grau de preservação como marismas, matas nativas, vegetação de dunas, campos húmidos e secos, mas também já possuiu áreas antropizadas como florestamento de *pinus* sobre as dunas vivas e produção de hortaliças nas áreas marginais a laguna dos patos. A ilha possui

um conjunto de fitofisionomias que se desenvolvem ao longo de áreas litorâneas, compostas por vegetação de influência fluvial e/ou lacustre e marinha, conhecida como restinga (Tagliani, 2011).

Estes são ambientes extremamente sensíveis ecologicamente, e do ponto de vista legal, segundo o Código Florestal (Lei Federal 4.771/65) considera-se as áreas de restinga como áreas de preservação permanente, até a Lei da Mata Atlântica (Lei Federal 11.428/06) que aborda sobre uso e proteção, tendo várias Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

As áreas de marismas possuem diversos papéis ecológicos importantes ao bom funcionamento do ecossistema do estuarino do qual fazem parte, eles protegem contra alagamentos e erosão, reciclam os nutrientes, fazem a filtragem natural de poluentes, produzem alimentos e contribuem na manutenção de habitats para abrigo e proteção de várias espécies da fauna (ver figura 10) (PMA da IM,2020).

Figura 10: Foto mostrando marismas e matas brejosas.



Fonte: a autora (18/10/2019)

Já as matas nativas, também conhecidas como Matas Brejosas, se desenvolvem sobre terrenos de terraço lagunar mal drenados ou são formações secundárias que se desenvolveram em zonas abandonadas de produção agrícola. Possuem uma flora com a presença de espécies como a corticeira-dobanhado (*Erythrina crista-galli*), a figueira (*Ficus organensis*), a batinga (*Eugenia*

*uruguayensis*) e a murta (*Blepharocalys salicifolius*) (PMA da IM 2020). Também é berçário de fauna como ninhais de colhereiro *platalea ajaja* (Figura 11).

Figura 11: Foto de colhereiros em um ninhal na IM.



Fonte: a autora (11/10/2019).

Com relação as dunas, podemos dividi-las em dois grupos:

O primeiro mais abundante chamada de dunas vivas, de ocorrência na parte central da ilha, de areias quartzosas distróficas de relevo ondulado. Este tipo de duna apresenta pouca vegetação, predominantemente de gramíneas e ciperáceas (Figura 12).

O segundo grupo são chamadas de dunas vegetadas (Figura 13), no PMA da IM de 2006, estas podem chegar a mais de 10m de altura em alguns pontos, e circundam as dunas vivas, como anteparos, que limitam a transição para os terraços lagunares.

A vegetação deste tipo do segundo grupo é mais robusta em comparação com a anterior, contendo espécies arbóreas e herbáceas, cactáceas e bromeliáceas. São consideradas semifixas, devido a este tipo de vegetação, onde abrigam e são fonte de alimento para a fauna, sendo responsáveis pela manutenção da biodiversidade da ilha.

Figura 12: Foto aérea de *drone* mostrando dunas vivas a esquerda da foto.



Fonte: autor téc. Kahuam Gianuca (19/09/2019)

Figura 13: Foto mostrando dunas vegetas



Fonte: A autora (18/10/2019)

Ao correlacionar dados de precipitação e os ciclos hidrológicos, estes são caracterizados por um conjunto de processos que se relacionam com a circulação da água tanto em escala global, quanto local, suas variáveis consistem na precipitação, interceptação, evaporação, escoamento superficial e subsuperficial, infiltração no solo, armazenamento no solo e fluxo da água nos

rios. Todas estas informações são de grande relevância para elaboração do balanço hídrico da região em questão.

Desta forma, percebe-se que nível do lençol freático e intensidade da precipitação, as dunas vivas presentes no interior da IM, possuem um dos papéis mais importantes para a regulação hidrológica da mesma, sendo as responsáveis pela captação, filtração e liberação da água pura gradualmente (Figura 14). São elas que garantem a qualidade e o suprimento de água para os lares e irrigação das lavouras. Estas características as tornam de grande atrativo para o turismo e a recreação

Figura 14: Foto tirada em saída de campo, mostrando a Lagoa do Rei no Camping Kioski.



Fonte: A autora, realizada em 11/10/2019.

Estas lagoas no interior da ilha possuem uma área variável com pouca profundidade atingindo maior expressão no inverno e primavera devido a precipitação. Nos verões pouco chuvosos chegam até secar (Figura 15). Localizadas em meio às areias quartzosas distróficas, possuem águas transparentes sendo pobres biologicamente.

Figura 15: Saída de campo realizada em 13/03/2020, mostrando a Lagoa do Rei praticamente seca no Camping Kioski (Localidade Porto Rei, IM)



Fonte: Acervo pessoal Miguel Silveira.

## **2.5. Monocultura de *pinus***

Segundo a Embrapa 2008, as espécies de *pinus* começaram a ser introduzidas no Brasil por volta de 1936, pelo atual Instituto Florestal de São Paulo, Embrapa 2008. Com os primeiros plantios frustrados devido a utilização de espécies de *pinus* que não se adaptaram a região, em meados dos anos 1960 deram início ao programa de incentivo fiscal ao "reflorestamento", onde começaram os plantios comerciais em regime de silvicultura intensiva nas regiões Sul e Sudeste do país. A abordagem, foi a introdução de espécies como *p. elliotii* e *p. taeda* em maior escala, e em menor escala as espécies *p. caribaea* e *p. oocarpa*. Com a criação do Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal (Prodepf) em 1970, várias ações em pesquisas foram incentivadas a fim de geração de subsídios técnicos nos projetos de reflorestamento.

Na década de 80, começaram os experimentos com espécies variadas, que possibilitaram o reconhecimento das que possuíam melhor potencial econômico para cada região. Atualmente a IM possui alguns bosques de *pinus* de origem de espécies variadas e remanescentes dos antigos cultivos, entretanto estes bosques não recebem nenhum tipo de manejo (ver figura 16). A dispersão de sementes para as áreas adjacentes a estes cultivos tem propagado a espécie novamente em toda extensão da IM.

Figura 16: Foto de um bosque na IM.



Fonte: a autora (23/07/2019)

A empresa FLOPAL foi responsável pelo plantio de *pinus* em semelhantes regiões da Planície Costeira do RS (Tonini, 2000), possuía cerca de 40.000 hectares reflorestados na faixa litorânea do Estado. As árvores possuíam no ano de 2000, idades entre 18 e 21 anos, incentivadas pelos projetos Banrisul 5 (Município de Palmares) e Mostardas 3 (Município de Mostardas).

A prospecção realizada pela FLOPAL na IM é contemporânea a estes projetos, que segundo Tonini (2000), apresentavam respectivamente, 1,6 e 2,5m de espaçamento restando 2500 árvores por hectare e com desbastes nos decimo segundo e decimo quarto anos respectivamente. Desta forma é possível estimar o número aproximado de arvores plantadas no interior da IM.

## 2.6. Serviços Ecossistêmicos e Ambientais

A Avaliação Ecossistêmica do Milênio de 2005 (MEA, 2005) teve como objetivo avaliar as consequências das mudanças nos ecossistemas e seus impactos ao bem-estar humano ao longo prazo. Os estudos tiveram foco nos serviços ecossistêmicos (SE) e serviços ambientais (SA), os classificando em categorias e serviços prestados.

Segundo Lattari (2018), a partir da MEA, 2005, a crescente produção científica sobre SE e SA difundiu e identificou os principais SE em declínio no mundo, levantando a importância da preservação destas áreas naturais, ou manejadas para a sobrevivência da humanidade.

Ainda não existe uma clara diferenciação entre os termos de SE e SA, onde diversos estudos tentaram propor uma classificação para tais conceitos. Lattari (2018) organizou um quadro (Tabela 1), onde expõe as principais referências e suas proposições de conceituação dos termos SE e SA.

Ao utilizarmos as definições propostas no quadro por Derissen and Latacz-Lohmann (2013) para o presente estudo na IM, podemos estabelecer que os Serviços Ecossistêmicos são os campos de dunas vivas, dunas vegetadas e marismas. Já os Serviços Ambientais encontram-se nas áreas de cultivos, ao redor da ilha e nas antigas áreas de cultivos de *pinus* em seu interior.

Tabela 1: Principais definições sobre Serviços Ecossistêmicos e Ambientais.

Referência	Definições
Daily (1997)	São as condições e processos provenientes dos ecossistemas naturais e das espécies que os compõe que sustentam e mantêm a vida humana
Costanza et al. (1997)	São para as populações humanas que derivam, direta ou indiretamente, das funções dos ecossistemas
De Groot et al. (2002)	São processos naturais que garantem a sobrevivência das espécies no planeta e tem a capacidade de prover bens e serviços que satisfazem necessidades humanas
Born e Talocchi (2002)	São serviços ambientais aqueles que se relacionam aos benefícios indiretos gerados pelos recursos naturais ou pelas propriedades ecossistêmicas das inter-relações entre estes recursos e a natureza, como por exemplo produção e disponibilidade de água potável, biodiversidade, fertilidade do solo e regulação do clima.
MEA (2005)	São benefícios que a pessoa obtém dos ecossistemas
Boyd e Banzhaf (2007)	São componentes da natureza diretamente aproveitados, consumidos, ou usufruídos para o bem-estar humano
Fischer et al. (2009)	S.E. são aspectos dos ecossistemas utilizados (direta ou indiretamente) para produzir bem-estar para sociedade, sendo os principais pontos (1) devem ser fenômenos ecológicos e (2) que não precisem ser utilizados de modo direto
FAO (2012) <i>apud</i> Derissen and Latacz-Lohmann (2013)	"...todos benefícios que humanos recebem dos ecossistemas, podendo ser diretos (provisão de alimentos), ou indiretos (através do funcionamento dos processos ecossistêmicos que produzem serviços diretos).
Haines-Young and Potschin (2013)	São as contribuições dos ecossistemas (natural ou modificado) que afetam diretamente ou indiretamente o bem-estar humano, sendo que a característica fundamental dos serviços ambientais são as conexões que são



	mantidas com as funções, processos e estruturas do ecossistema que os originam.
Derissen and Latacz-Lohmann (2013)	Diferenciam S.E. de serviços ambientais, sendo que os primeiros são fornecidos por ecossistemas naturais (consumidos diretamente ou indiretamente pelos homens) e que os segundos são aqueles que necessitam de uma intervenção humana, a partir dos primeiros) As autoras também propõe que Pagamento por Serviços Ecossistêmicos seja entendido como Pagamento por Serviços Ambientais.

Fonte: Adaptado de Lattari 2018.

A área de dunas vivas possui grande relevância ecológica para a sustentabilidade da IM, segundo Cunha (2015), visto que, os campos no interior da IM prestam um grande serviço ecossistêmico de micro bacia de captação de chuva, limitados pelas dunas vegetadas que formam um grande cordão de proteção ao redor das dunas vivas. Esta área serve como área de captura da água da precipitação, filtra e armazena em seu lençol freático, sendo a água consumida posteriormente pelos ilhéus em suas residências e plantios, visto que a IM não possui serviço de abastecimento público de água tratada como boa parte do município.

## **2.7. Simulação de Balanço Hídrico Climatológico**

Segundo Sentelhas e Agelocci, o balanço hídrico é o resultado das entradas e saídas de água de um sistema em diferentes escalas. Pensando em uma escala macro, o BH é o próprio “ciclo hidrológico”, nos fornecendo a água disponível no sistema como no solo, rios, lagos, ou seja, na biosfera como um todo.

Já em uma escala intermediária, como uma micro-bacia hidrográfica, o BH resulta na vazão de água presente nesse sistema. Nos períodos em que a precipitação é menor do que a demanda atmosférica por evaporação, está vazão diminui, em períodos que a chuva supera a demanda, a vazão aumenta.

Os autores indicam que para uma escala local, no caso de uma cultura, o balanço hídrico tem por objetivo estabelecer a variação de armazenamento e a disponibilidade de água no solo. Conhecendo as características do solo como a umidade, quanto de água este armazena é possível se determinar se a cultura causa ou não deficiência hídrica.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Obtenção dos dados de campo

Os dados de campo foram obtidos através de vinte e uma saídas de campo realizadas no âmbito do Projeto Costa Sul II, nos meses de junho de 2019 até março de 2020. Foram aplicados 120 questionários aos ilhéus, abordando diversas questões socioambientais, mas para o presente estudo iremos tratar sobre as questões referentes ao plantio de *pinus*.

Para a localização de espécies remanescentes, as coordenadas foram coletadas com um GPS Etrex 20 da Garmin e as imagens com uma câmera digital Cyber-Shot HD modelo DSC-HX200V com GPS integrado, com 18.2 megapixels de resolução, e equipamentos de proteção pessoal, devido aos deslocamentos internos na IM. Os dados coletados em campo foram organizados e classificados com base na observação de campo, onde foi gerada uma classificação de quantidade de exemplares de *pinus* conforme o raio de visão de cem metros do ponto registro de coordenadas (Tabela 3). Esta tabela serviu como rotulagem dos dados coletados em campo no último produto cartográfico gerado no presente estudo.

Tabela 2: Legenda de Classificação de quantidade de exemplares de *pinus* para um raio de 100m.

<b>Quantidade</b>	<b>Classificação</b>
Menos de 10	1
10 a 25	2
25 a 50	3
50 a 100	4
Mais de 100	5

Fonte: A autora, 2019.

### 3.2. Obtenção das imagens de satélite

Os dados utilizados para a análise espaço-temporal através de SR foram imagens de satélite LANDSAT, com distribuição temporal entre os anos de 1985 até 2014. As imagens eram multiespectrais de resolução de 30m e 16 metros por pixel, disponíveis no site da USGS (United States Geological Survey) e CBERS4a de 2020 e pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Para a escolha das imagens de satélite, foram adotados parâmetros como critérios de escolha, sendo a cobertura de nuvens sobre a área de análise, as distribuições temporais ao longo dos dias, meses e anos, que constituem as amostras do intervalo temporal. Os meses escolhidos foram de março e maio, que correspondem estação do outono no hemisfério sul, o passo da coleta de seleção das imagens foi de cinco anos, variando de quatro a seis devido as condições de cobertura de nuvens nos meses definidos, critério de escolha definido para melhor qualidade da análise.

### 3.3. Procedimentos metodológicos de Sensoriamento Remoto

A análise proposta é o Índice de Diferença de Vegetação Normalizada, em inglês a sigla é NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Esta análise é muito usual para medir as condições da vegetação na agricultura. O índice NDVI (Equação 1) é obtido através de um satélite que capta a quantidade de energia refletida pela superfície terrestre para certos pontos do espectro eletromagnético, sendo que a vegetação reflete mais ou menos energia dependendo de suas características, ou seja, representa o albedo individual de cada espécie superficial que cobre a área de estudo. (Jensen, 2009, Sensoriamento remoto do ambiente, página 218)

$$\text{Equação 1: NDVI}$$
$$\text{NDVI} = \frac{(\text{INFRAVERMELHO} - \text{VERMELHO})}{(\text{INFRAVERMELHO} + \text{VERMELHO})}$$

Após a escolha das imagens de satélite dentro da periodicidade e sazonalidade estabelecida, elas foram submetidas a análises NDVI, a fim de estabelecer as dimensões, variações e comportamentos espaço-temporal do plantio no interior da IM. Desta forma, foram obtidos os mapas NDVI de cada período e conjunto de dados, respeitando a linha do tempo e a ordem

cronológica. De posse dos processamentos e critérios, foi realizada uma vetorização das áreas de monocultura em seu período de ápice, para delimitação destas áreas de controle. Permitindo que a vetorização fosse sobreposta e projetada sobre a última análise NDVI e dados empíricos coletados em campo.

Segundo a organização o EOS (Earth Observing System), referência internacional neste tópico, os resultados dos cálculos NDVI abrangem uma escala de -1 a 1. Se distribuindo dentro das bandas de reflexão superficial, albedo individual, dentro das representações dos valores NDVI, assumindo os valores apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Interpretação das escalas NDVI

<b>Escala NDVI</b>	<b>Significado</b>
-1 até 0	Água, construções, rochas, nuvens e objetos inanimados
0,1 até 0,2	Solo exposto
0,2 até 0,5	Vegetação escassa
Maior ou igual a 0,5	Vegetação densa

Fonte: Adaptado do site EOS (2022), pela autora.

Cada intervalo apresentado na tabela acima abrange um conjunto de classes de albedo característicos, ou seja, valores de negativos a zero correspondem a áreas com superfícies de água, estruturas construídas pelo homem, formações rochosas e nuvens. O solo exposto fica normalmente dentro do intervalo 0,1 a – 0,2, seguido pelas plantas, assumindo sempre valores positivos entre 0,2 até 1. Podendo classificar as plantas quanto ao seu estado físico, saudável e densa acima de valores iguais ou acima de 0,5 e escassa fica dentro do intervalo 0,2 – 0,5.

### **3.4. Simulação do Balanço Hídrico Climatológico Normal**

Para estimativa do balanço hídrico em condições naturais, considera-se como componentes de entrada a chuva (P), o orvalho (O), escoamento superficial (Ri), escoamento sub-superficial (DLi) e ascensão capilar (AC). Para as componentes de saída são levados em conta a evapotranspiração (ET), escoamento superficial (Ro), escoamento sub-superficial (DLo) e a drenagem

profunda (DP). Ao equacionar as entradas e saídas de água, vamos obter a equação da variação de armazenamento de água no solo ( $\Delta\text{ARM}$ ) (ver equação 2).

*Equação 2:* Variação de Armazenamento de água no solo.

$$\Delta\text{ARM} = P + O + R_i + D_{Li} + AC - ET - R_o - D_{Lo} - DP$$

Para simplificarmos a equação, considera-se a chuva a principal entrada de água, ao compararmos a contribuição do orvalho, o mesmo só assume papel importante em regiões muito áridas, podendo ser desprezível, assim como as entradas de água por ascensão capilar também são insignificantes e só ocorrem em locais com lençol freático superficial e em períodos muito secos. Os fluxos horizontais de água ( $+R_i$ ,  $-R_o$ ,  $+D_{Li}$  e  $-D_{Lo}$ ), para áreas homogêneas, se compensam e se anulam. Para as saídas, ET a principal, especialmente nos períodos secos e a DP a outra via de saída de água do solo nos períodos excessivamente chuvosos. Desta forma obtemos a seguinte equação geral do balanço hídrico (ver equação 3).

*Equação 3:*  $\Delta\text{ARM}$  simplificada

$$\Delta\text{ARM} = P - ET - DP$$

Esta equação ajuda a determinar a variação da disponibilidade de água no solo, e calculando a capacidade de água disponível (CAD) pode-se chegar a quantidade de água que o mesmo armazena. O método mais usual para este balanço é o de Thornthwaite e Mather proposto em 1995, conhecido como balanço hídrico climatológico (BHC). Este balanço é calculado a partir de dados de P, evapotranspiração (ETP) e CAD, chegando assim aos valores de  $\Delta\text{ARM}$ , de evapotranspiração real (ETR), de déficit (DEF) e excedente (EXC), que é considerado igual a DP.

O BHC serve para caracterizar o clima de uma dada região, possuindo dois métodos similares de elaboração, sendo um deles o BHC Normal, que utiliza dados médios de ETP e P, sendo este um indicador climatológico de disponibilidade hídrica, que leva em conta a variação sazonal ao longo de um ano, auxiliando no planejamento agrícola. Já o BHC sequencial, é elaborado com dados de P e ETP de um ano ou uma sequência de períodos específicos para

uma caracterização das condições do BH e suas variações sazonais ao longo destes períodos, sendo utilizado para as tomadas de decisão.

A determinação de CAD é um dos principais elementos para a elaboração do BHC. O mesmo pode ser determinado por duas equações, sendo a primeira levando em conta as características físico-hídricas do solo e o segundo levando em conta as características gerais do solo. A primeira equação (ver equação 4) leva em conta a umidade da capacidade de campo (CC em %), a umidade do ponto de murcha (PMP em %), a massa específica do solo (dg), e a profundidade específica radicular da espécie (Zr em mm).

*Equação 4:* CAD a partir das características físico-hídricas

$$CAD = \left[ \frac{CC\% - PMP\%}{100} \right] * dg * Zr$$

A segunda equação (ver equação 5) de Doorenbos e Kassam (1994) leva em conta a CAD média, em milímetros de água dividida por centímetros de profundidade do solo, e Zr é a mesma para a primeira equação.

*Equação 5:* CAD a partir das características gerais do solo

$$CAD = CAD_{média} * Zr$$

CAD<sub>média</sub> possui valores médios para três tipos de solos, sendo argilosos iguais a 2,0mm/cm; solos de textura média 1,4mm/cm e solos arenosos 0,6mm/cm. Os valores médios das profundidades radiculares são dados pela tabela 4, conforme o tipo de cultura.

Tabela 4: Valores médios da profundidade dos sistemas radiculares

<b>Cultura</b>	<b>Zr (cm)</b>
Hortaliças	10 a 20
Arroz, batata, feijão	20 a 30
Trigo	30 a 40
Milho e soja	40 a 50
Amendoim	50 a 60
Cana, citros, cafeeiro	70 a 100
Espécies florestais	150 a 250

Fonte: Adaptado de Sentelhas e Angelocci.

Para o presente estudo, utilizaremos o BHC Normal (BHCN), e CAD a partir das características gerais do solo, a fim de conhecer os indicadores de disponibilidade hídrica para a região de Rio Grande, e suas variações sazonais. É interessante lembrar que este método é válido ao município como um todo, nas regiões onde possuam o mesmo tipo de solo proposto pelo CAD calculada. A IM possui particularidades em seu abastecimento de água ao consumo humano, como já citado anteriormente, desta forma o BHC leva em conta a disponibilidade para a cultura, e não aspectos do consumo humano.

Para realização do BHCN, foram utilizados dados de precipitação, e temperatura, obtidos através da estação meteorológica convencional da FURG, do período de 1990 até 2014, totalizando vinte e quatro anos de série histórica, que compreendem a maior parte do desenvolvimento dos *pinus* na IM.

Para estimar os valores de ETP foi utilizado o método de Thorntwaite, que é bem aceito para todas as regiões, visto que se baseia somente na temperatura. Vale ressaltar que este método pode apresentar alguns erros pois não leva em consideração a energia disponível, vento, advecção do ar frio ou quente, não estimando valores diários, mas sendo bem adequado para regiões úmidas.

A estimativa de ETP (em cm) para este método (equação 6) possui como variáveis o fator de ajuste em função da latitude e mês do ano, determinada pela equação 7, ( $f$ ), temperatura média mensal em °C ( $t$ ) e o índice de calor anual ( $I$ ) que se baseia na equação 8, e valor da variável “a” é dado pela equação 9.

*Equação 6:* ETP método de Thorntwaite

$$ETP = f * 1,6 * \left(\frac{10 * t}{I}\right)^a$$

*Equação 7:* Fator de ajuste em função da latitude e mês do ano ( $f$ )

$$f = \frac{h}{12} * \frac{n}{30}$$

Onde  $h$  é o número de horas de luz do sol na latitude considerada e  $n$  é o número de dias do mês.

*Equação 8:* Índice de calor anual ( $I$ )

$$I = \sum_{1}^{12} i \text{ onde } i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$$

*Equação 9:* Função cubica do índice de calor anual (a)

$$a = 6,75 * 10^{-7} * I^3 - 7,71 * 10^{-5} * I^2 + 1,792 * 10^{-2} * I + 0,49239$$

Após determinar os valores ETP, pode-se dar continuidade da preparação para elaboração de BH, onde já conhecidas as colunas de ETP, P, calcula-se (P-ETP), e assim é possível iniciar a elaboração do BHCN. Thornthwaite e Mather (1995), consideram a retirada de água do solo considerando uma função exponencial, ver equação 10 e 11. Ao comparar que a reposição é direta, onde se soma ao armazenamento de água ao saldo positivo entre o balanço de P-ETP.

*Equação 10:* Reposição de água no solo (NAc)

$$NAc = CAD * \ln(ARM/CAD)$$

NAc é aplicada quando  $(P - ETP) \geq 0$

*Equação 11:* Retirada de água do solo (ARM)

$$ARM = CAD * e^{-|NAc/CAD|}$$

ARM é utilizada quando  $(P - ETP) < 0$  e somada ao ARM anterior.

Esta simulação de BHCN vai mostrar as condições médias, máximas e mínimas ao longo de quatro cenários em questão, sendo extremamente relevante para a tomada de decisão sobre a viabilidade da cultura.



## 4. RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos foram separados em quatro subseções, sendo elas a determinação da dimensão espaço-temporal das monoculturas no interior da IM, o cruzamento das análises NDVI com os dados de campo, a análise de índices NDVI sobre as áreas de cultivos e simulação de balanço hídrico climatológico normal.

### 4.1. Dimensão espaço-temporal das monoculturas no interior da IM

Oito mapas mostram a evolução espaço-temporal da monocultura de *pinus* no interior da IM, sobre as dunas vivas, as imagens estão em sequência temporal com intervalos de aproximadamente cinco anos. Iniciou-se a elaboração de mapas no ano de 1985, o marco temporal inicial da análise, pois nas buscas para verificar imagens de satélite nos anos anteriores, 1975 e 1980, não apresentavam nenhum vestígio, albedo característico, da monocultura de *pinus*. As imagens analisadas, que contemplaram os critérios definidos, em sequência temporal foram dos anos de 1985, 1990, 1995, 2001, 2005, 2009, 2014 e 2020. As escalas NDVI possuem classes diferentes em cada mapa no passo do tempo, desta forma serão analisadas em sua singularidade a cada mapa de análise, estabelecendo em cada representação a correlação do cenário com sua paridade temporal na linha sequencial deste estudo.

Partindo do início da análise NDVI, o ano de 1985 (Figura 17), podemos pronunciar a área central da IM, valores -0,1, que identifica as lagoas presentes no interior da ilha e o estuário ao seu redor. Ainda abordando a área central, verificamos valores de 0,01 em sua grande parte, assim como regiões identificadas por valores de 0,17, respectivamente os valores correspondem a solo exposto ou objetos inanimados.

Figura 17: NDVI 1 (LAND SAT 11/04/1985)

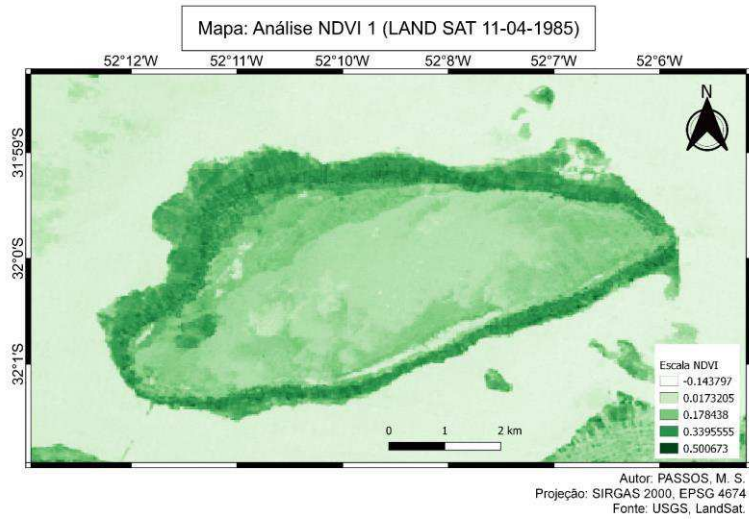


Figura 18: NDVI 2 (LAND SAT 11/05/1990)

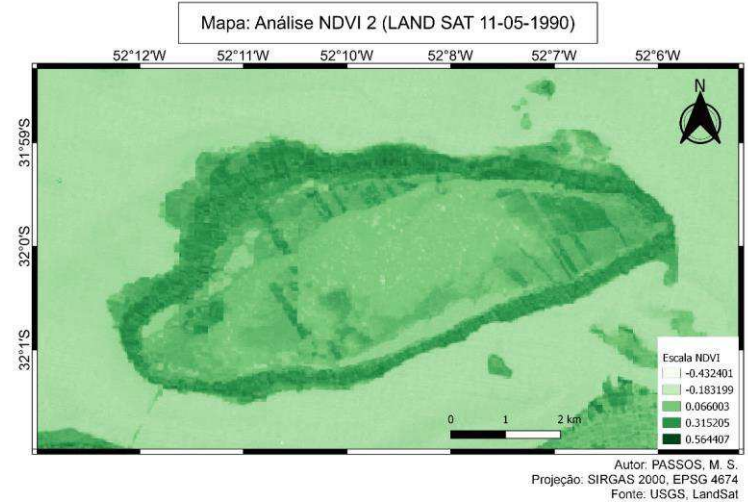


Figura 19: NDVI 3 (09/05/1995)

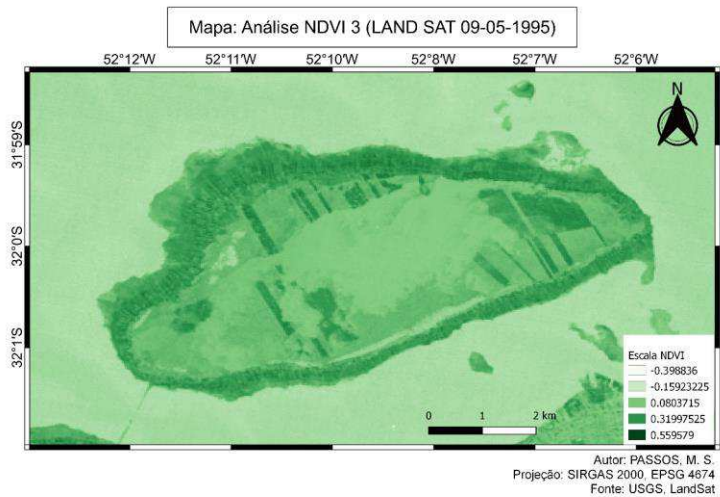
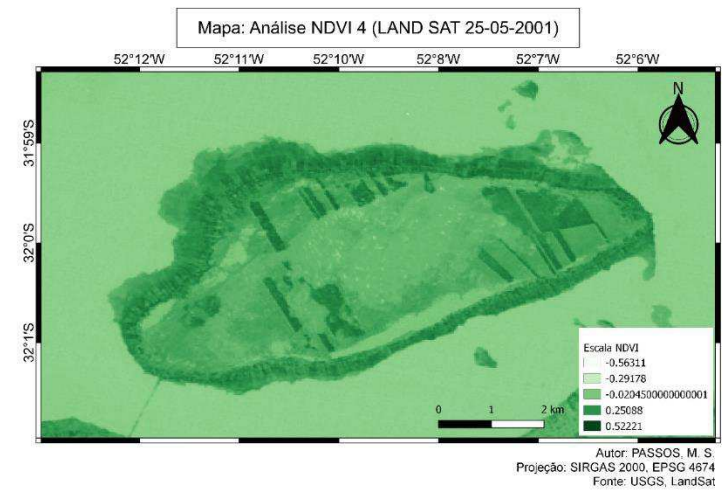


Figura 20: NDVI 4 (25/05/2001)



Dentro do cinturão de dunas que margeiam a área de plantio de *pinus*, se exalta na Figura 17, que neste ano observamos uma pequena área com valores de 0,33 a oeste. A partir do cinturão de dunas vegetadas que contorna a ilha e em toda a sua margem, onde ficam os terraços lagunares e matas brejosas, utilizados pelos moradores com áreas de plantios de hortaliças, sendo as áreas representam a maior densidade foliar como as matas nativas e cultivos nos terraços lagunares (os tons mais escuros), respectivamente valores representados na escala de albedo NDVI entre de 0,33 até 0,5.

Nesta imagem ainda não fica perceptível a intervenção das monoculturas na área central da ilha, o que não significa que elas já não estivessem lá, dado que quando jovens, as mudas de *pinus* não possuem densidade foliar suficiente para serem visíveis ao NDVI, e a resolução da imagem de satélite não é suficiente para a percepção visual.

Para a imagem seguinte, figura 18, as áreas de plantios já começam a ser visíveis através da análise NDVI (1990), sendo facilmente distinguíveis através de representações geométricas nas áreas centrais da ilha com valores de 0,31, para regiões onde não havia a nenhuma mancha no ano de 1985. Por serem árvores mais robustas e com maiores densidades foliares, já conseguem ser percebidas pelas análises NDVI.

Novamente (1990) as áreas de dunas vegetadas, matas brejosas e terraços lagunares aparecem com os maiores valores de escala NDVI, de 0,31 até 0,5 margeando todo o perímetro da ilha. As lagoas internas e estuário aparecem representados com valores de -0,4, e as áreas de solos expostos, dunas vivas aparecem dentro dos valores de -0,18 até 0,06. Notasse que os limites das áreas de cultivos de *pinus* ainda não estão completamente definidos, mostrando valores variáveis de NDVI dentro dos mesmos. Isto ocorre provavelmente pela idade das espécies plantadas, mostrando que possivelmente algumas áreas de cultivo foram prospectadas em ciclos diferentes, evidenciado pela variação dos valores de escala NDVI e as densidade foliares diferentes.

Para o ano de 1995, podemos ver através da figura 19, que é possível identificar que as feições das monoculturas já possuem uma maior definição de seus limites de áreas, e que a densidade foliar dos cultivos possui mais intensidade, ficando evidente através de dos valores de 0,31 em sua grande maioria e em alguns pontos com valores próximos a 0,5. Estas informações são

indicadores de um bom desenvolvimento dos plantios ao longo destes anos, mostrando a rápida adaptação desta espécie exótica ao ecossistema da IM.

As áreas de dunas vivas, manchas, lagoas internas e ao estuário ao redor da ilha estão representadas respectivamente com valores de -0,1, 0,08 e -0,39. Pronunciada na imagem está a Lagoa do Rei, que apresenta uma tonalidade entre -0,39 e -0,15, nas áreas marginais da ilha os valores que flutuam de 0,08, solos expostos devido á áreas de cultivo de hortaliças, entre 0,3 e 0,55 em sua grande maioria, se trata de áreas com a grande presença das matas brejosas e as dunas vegetas que circundam o perímetro de toda a ilha.

Podemos observar na Figura 20, que as áreas de cultivo em 2001 obtiveram as maiores intensidades de escalas NDVI nos limites das plantações, comparados aos anos anteriores, com valores mais homogêneos de 0,52, na quase totalidade das áreas de plantio, salvo pequenas áreas com falhas internas.

Da análise comparativa, em relação aos anos pretéritos, vemos que as áreas de plantios do *pinus* e marginais da ilha, superam os números anteriores da escala NDVI, demonstrando que a densidade foliar das áreas de cultivo de *pinus* estão maduras ou se aproximando da maturidade. As áreas marginais da ilha apresentam alguns pontos com escala de 0,52, mas sem a mesma distribuição contínua de outrora, indicando a percepção do amadurecimento destes cultivos, ou a maior exploração das áreas marginais como cultivo de hortaliças. Para a análise espaço-temporal em questão, este ano se pronunciou como o pico do cultivo de *pinus* na série temporal do presente estudo. As lagoas internas e o estuário, são identificados na escala pelos valores de -0,56 e -0,29. As áreas de dunas vivas estão na faixa da escala entre -0,29 até algumas manchas de -0,02, além da presença micro lagoas formadas por alguma precipitação recente, na faixa de -0,56

Figura 21: NDVI 5 (LAND SAT 04/05/2005)

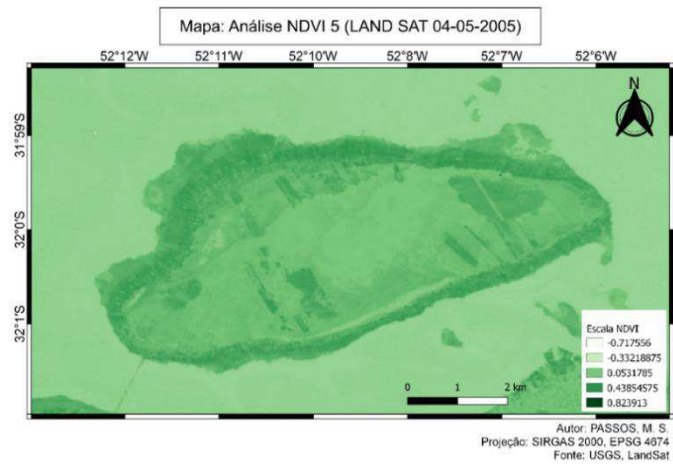


Figura 22: NDVI 6 (LAND SAT 29/04/2009)

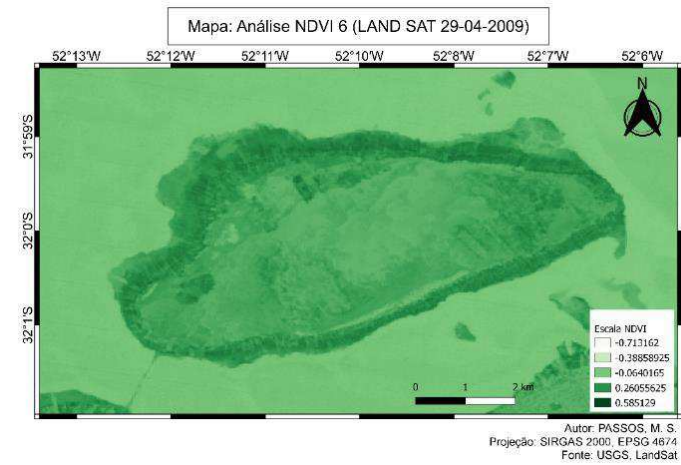


Figura 23: NDVI 7 (LAND SAT 27/04/2014)

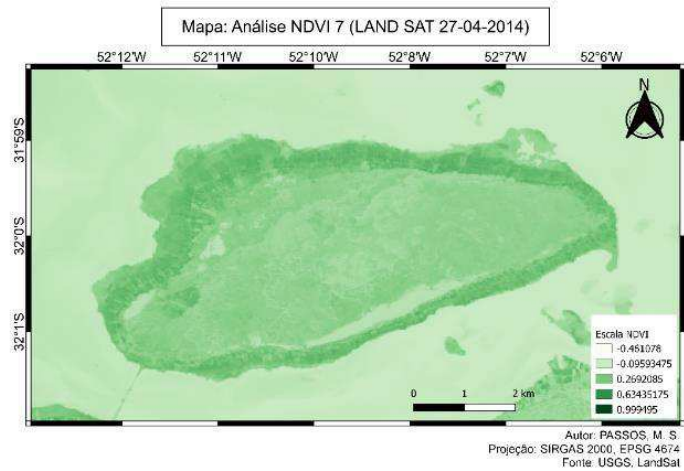
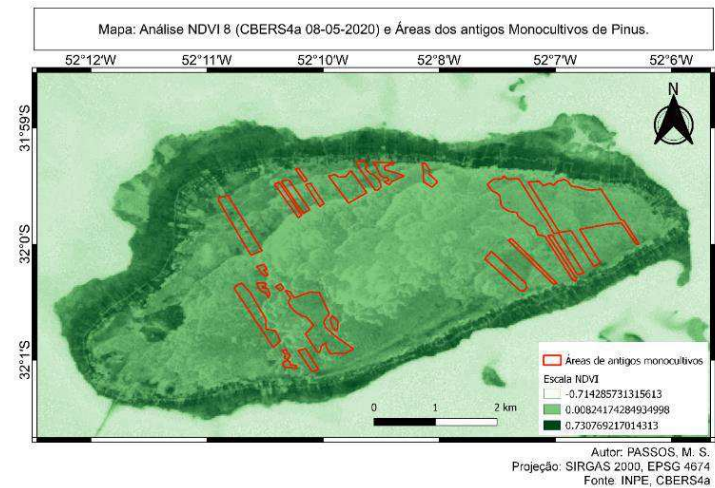


Figura 24: NDVI 8 (CBERS4a 08/05/2020)



No ano de 2005 já é possível perceber o início da extração dos *pinus* nas áreas de cultivo, isto se dá pelo fato de já serem perceptíveis algumas falhas nas áreas das monoculturas, conforme a Figura 21. Dentro das áreas de cultivos podemos visualizar valores de -0,33 que se interpreta como solo recentemente exposto em contraste com as áreas de valores 0,43, dentro do perímetro já conhecido como a monocultura. Estas manchas de solos expostos aparecem em intensidades diferentes em áreas diferentes dentro dos plantios, provavelmente pela maturidade do cultivo e a extração de exemplares que completaram seu ciclo de permanência em relação as mais jovens, dentro das mesmas áreas

As áreas marginais da ilha, ambientes de matas brejosas, dunas vegetadas apresentam valores entre 0,43 e alguns poucos pontos de com valores de 0,82. Nas mesmas áreas citadas é possível visualizar alguns poucos pontos de solos expostos, onde provavelmente havia horticulturas, mas mais concentrados nas parcelas à nordeste da ilha. As áreas de dunas vivas, algumas manchas, as lagoas internas e o estuário da vizinhança são representadas respectivamente por valores de -0,33, 0,05 e os valores entre -0,71 a -0,33.

Para a análise do ano de 2009, figura 22, é perceptível a extração da maioria das áreas de cultivo, salvo uma pequena área ao norte que ainda não foi iniciado o extrativismo, entretanto existem algumas manchas de valor 0,26 nestas áreas onde os *pinus* já foram retirados, que podem ser resquícios dos processos de extração.

Da observação objetiva, fica evidente que não se visualiza com tanta facilidade as geometrias definidas das zonas de plantios, que antes estavam presentes, dando lugar a manchas de valores variáveis de -0,38 até -0,06, com alguns locais de valores 0,26. As áreas centrais de dunas vivas começam a se fundir novamente com as áreas dos antigos plantios, sendo elas representadas pelos valores de -0,38 e algumas manchas com valores de -0,06.

O perímetro da ilha volta a apresentar os valores máximos da escala NDVI para o ano em questão, tendo manchas expressivas com valores de 0,58 em todo o entorno, apresentando algumas manchas bem menos expressivas de valores correspondentes a solos expostos. As lagoas internas da ilha seguem sendo evidenciadas por manchas com os valores mínimos na faixa de -0,71 e -0,38 assim como o entorno da ilha, circundado pelo estuário respectivamente.

Seguindo a linha do tempo, no ano de 2014, figura 23, já é possível perceber a homogeneidade dos valores de classes NDVI para as áreas dos cultivos pretéritos com os mesmos valores correspondentes as áreas de dunas vivas. Praticamente toda a área onde havia feições geométricas dos plantios agora se dissolveram, e nem podem mais serem distinguidas através de SR, dando lugar a áreas de valores -0,09, correspondentes a solos expostos que se integram as áreas de dunas vivas, representadas pelo mesmo valor, salvo algumas manchas sutis de valores entre -0,09 e 0,26.

As áreas marginais a ilha, seguem expondo os valores máximos da escala, entre 0,63 e algumas pequenas manchas de valor 0,99. Dentro destas áreas as margens da ilha, ainda é possível ver pequenas manchas de solos expostos, mas com bem menor frequência e intensidade que nas análises anteriores, o que pode demonstrar uma tendência de diminuição de manejo das áreas agriculturáveis nos terraços lagunares. As áreas de lagoas internas na ilha seguem com os valores mínimos de escala, assim como o estuário que circunda a ilha também representado por valores entre -0,46 e -0,09 na escala.

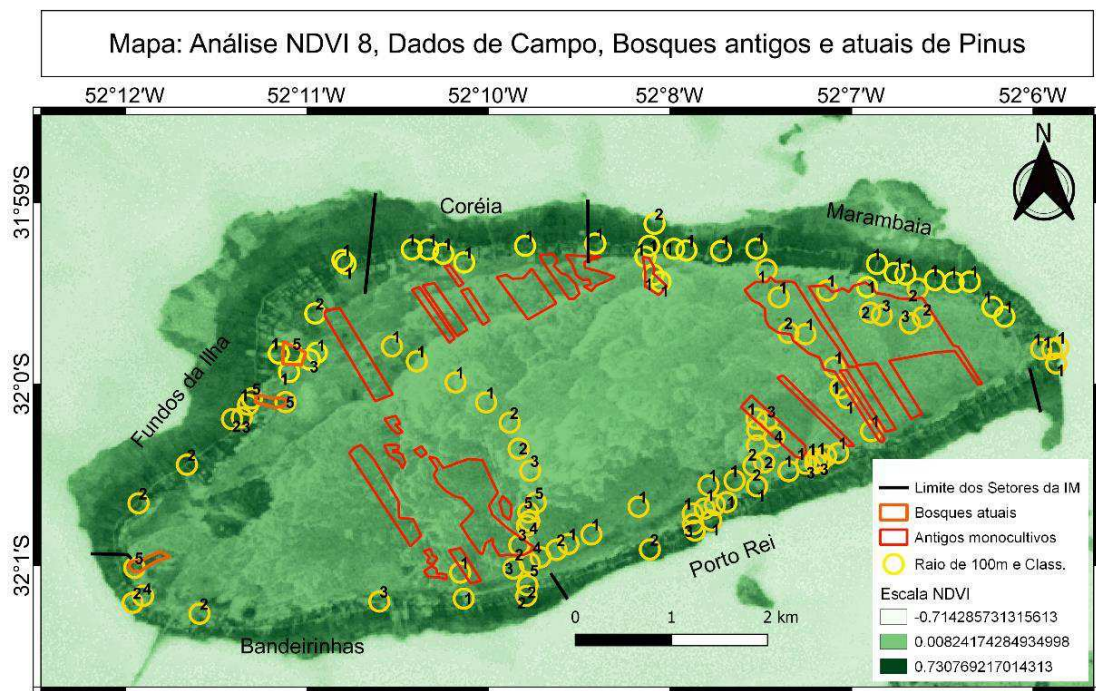
Para a última análise NDVI foi utilizada imagem de satélite CBERS4a de resolução espacial 16mx16m, visando a possibilidade de identificar os *pinus* remanescentes mapeados nas saídas de campo e localizá-los através de sensoriamento remoto. Nesta imagem foram projetados os polígonos que delimitam as áreas de monoculturas, entretanto, como fica evidente através da observação da Figura 24, os espécimes remanescentes dos plantios não são detectados pela análise NDVI, nem utilizando imagens de alta resolução.

Ao centro da ilha, na Figura 24, é possível identificar os formatos das dunas vivas, que possuem suas cristas e cavas visíveis por sensoriamento remoto. Outra informação perceptível é a falta de representação das lagoas internas na IM, observa-se que nas áreas onde em análises anteriores era possível identificar as feições das lagoas, nesta imagem são apresentadas com valores positivos. Mostrando o impacto da estiagem que foi evidenciada na saída de campo em março do mesmo ano (Figura 10).

#### 4.2. Cruzamento das análises NDVI com os dados de campo

Na análise feita para o processamento da Figura 25, foram sobrepostos o *shape* da análise NDVI 8 e os dados de campo, os polígonos que delimitavam as áreas dos antigos plantios, assim como delimitados os novos bosques identificados em campo. Os dados de campo foram representados com círculos amarelos sem preenchimento (para possível identificação por análise de SR) de raio de 100m e rotulados pela classificação de quantidade de exemplares dentro deste perímetro seguindo a tabela 2, estabelecida de forma antecipada a saída de campo.

Figura 25: Mapa Análise NDVI 8, Dados de Campo, Bosques antigos e atuais de *pinus*.



Foram mapeados três novos bosques, sendo o primeiro, e maior, na região do limite do setor Bandeirinhas com Fundos da Ilha. O segundo e terceiro ficam no setor Fundos da Ilha, um deles dentro de uma propriedade privada, que em conversa com o morador, não demonstra nenhum interesse em retirar. O terceiro é o que fica mais ao norte deste setor, fica dentro do clube Barulho. Os três bosques apresentam em sua maioria, exemplares adultos de grande potencial de dispersão de sementes e estão representados por polígonos laranjas na Figura 25.

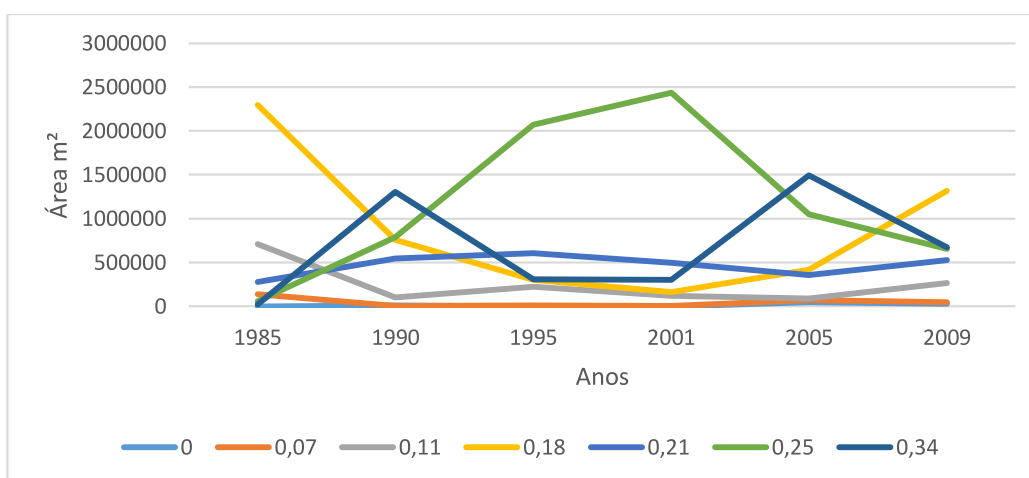


Com relação as áreas dos antigos plantios, não foi possível visitar *in loco* todas áreas dos antigos cultivos durante as saídas de campo, mas como podemos ver na figura 25, dentro de todas as das áreas visitadas haviam exemplares de remanescentes presentes que não ficam evidentes através de análises por SR. Vale ressaltar também os exemplares de *pinus* que se encontram nas áreas marginais das ilhas, muitos crescendo dentro das matas brejosas ou nas dunas vegetadas, o que dificulta o acesso e possível remoção.

#### 4.3. Análise de índices NDVI sobre as áreas de cultivos

A fim de verificar as variações dos índices NDVI dentro das áreas de cultivos, foram escolhidos sete valores NDVI de zero até 0,34 para reclassificação dos mesmos. Estas análises NDVI foram convertidas de raster para polígonos, onde estes polígonos foram nomeados conforme a reclassificação. Foram extraídos os valores das áreas em metros quadrados dos polígonos para cada ano de análise, conforme podemos verificar na figura 26.

Figura 26: Análise de índices de vegetação através do NDVI sobre as áreas de cultivos



Sabendo que valores NDVI podem variar entre -1 e +1, sendo que valores 0,5 até 1 são considerados para florestas de vegetação densa, locais com grama e vegetações esparsas ficam entre 0,2 e 0,5, enquanto solos expostos possuem valores entre 0,1 e 0,2 podendo obter valores negativos dependendo do tipo de solo. Podemos perceber através do gráfico exposto na figura 26, que dois valores NDVI, 0,18 e 0,25 possuem variações significativas e opostas que corroboram com as afirmações feitas para cada análise NDVI feitas na seção 4.1 deste trabalho.

Os valores de 0,34 apresentam dois picos significativos para os anos de 1990 e 2005, o que pode indicar no primeiro caso a saúde e bom desenvolvimento das plantações nos seus anos iniciais, e em 2005 seu ápice de densidade foliar, indicando o momento de colheita. Já o mesmo índice de 0,34 nos anos de 1995 e 2001 mostram um decaimento na quantidade de área, porém o índice de 0,25 se mostra o mais elevado nestes mesmos anos, o que nos indica que as plantações permanecem, porém com densidades foliares menores, provavelmente pelo impacto da estiagem de precipitação nestes anos. Para este gráfico não foram considerados valores menores que zero, os mesmos não se faziam presentes dentro dos polígonos dos plantios, e os valores 0,07 e 0,11 tiveram poucas variações ao comparados com os demais valores.

#### **4.4. Simulação de cenários balanço hídrico climatológico normal**

Para o cálculo de simulação do BH, foram levados em conta quatro cenários sendo o primeiro é utilizado valores médios mensais de P e ETP de toda série histórica de vinte e quatro anos. O segundo cenário foi escolhido levando em conta o ano que se aproximou mais da média de precipitação anual apontada por Silva em 2019, sendo este o ano de 1993. O terceiro cenário foi escolhido o ano de menor precipitação anual dentro da série, sendo ele 1996, e o quarto cenário foi o ano de máxima precipitação anual que foi 2002.

O valor de CAD atribuído a todos os BHCN foi calculado utilizando a equação 2, e o valor máximo de Zr para espécies florestais na tabela 2. Desta forma obtivemos a equação 12.

Sendo:  $CAD = CAD_{média} * Zr$  (equação 4)

$$CAD = \left( \frac{0,6mm}{cm} \right) * 250cm$$

Então:  $CAD = 150mm$

Já os valores de NAc e ARM são calculados para cada cenário e mês quando necessário, sendo que, quando o valor de ARM foi maior que CAD, é adotado o valor de CAD para o respectivo mês. Isto se dá pelo fato de que o armazenamento não pode ser superior a capacidade de água disponível no solo.

#### 4.4.1. Cenário 1: Simulação do BHCN 1990-2014

Para elaboração deste cenário, foram feitas médias dos valores de precipitação e temperatura dos 24 anos para cada mês. Foram calculados os valores de ETP para os valores médios de temperatura de cada mês conforme vemos na tabela 5. Os quadros em vermelho são o mês no qual se iniciou o BHCN. A representação gráfica para o BHCN 1, pode ser visualizada nas figuras 27 e 28 respectivamente.

Tabela 5: BHCN 1

Local: Rio Grande, RS Período: 1990-2014						CAD=150mm				
MESES	TempMéd	P	ETP	P-ETP	Nac	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
JAN	24,9106	101,3917	141,7	-40,3	-72,9	92,26	-28,4	129,8	11,9	0
FEV	24,67524	150,4083	118,6	31,8	-28,43	124,1	31,8	118,6	0,0	0
MAR	23,74597	127,9792	113,1	14,9	-11,53	138,9	14,9	113,1	0,0	0
ABR	20,5481	130,9792	74,9	56,1	0	150	11,1	74,9	0,0	45,0
MAI	17,11239	114,9792	49,2	65,8	0	150	0	49,2	0,0	65,8
JUN	14,3305	121,4667	31,6	89,9	0	150	0	31,6	0,0	89,9
JUL	13,48836	123,8042	29,5	94,3	0	150	0	29,5	0,0	94,3
AGO	14,92192	116,1583	38,3	77,9	0	150	0	38,3	0,0	77,9
SET	16,13817	124,2833	47,2	77,1	0	150	0	47,2	0,0	77,1
OUT	19,03087	109,4042	74,1	35,3	0	150	0	74,1	0,0	35,3
NOV	21,29062	100,7125	96,8	3,9	0	150	0	96,8	0,0	3,9
DEZ	23,4452	93,55417	126,2	-32,6	-32,6	120,7	-29,3	122,8542	3,3	0
ANO	19,46983	1415,121	941,2	473,9			0	925,9	15,3	489,135
Aferição BHC Normal										
P=ETP+(P-ETP)		1415,1								
P=ETR+EXC		1415,1								
ETP=ETR+DEF		941,2								

Fonte: A autora

Figura 27: BHCN 1 Simples

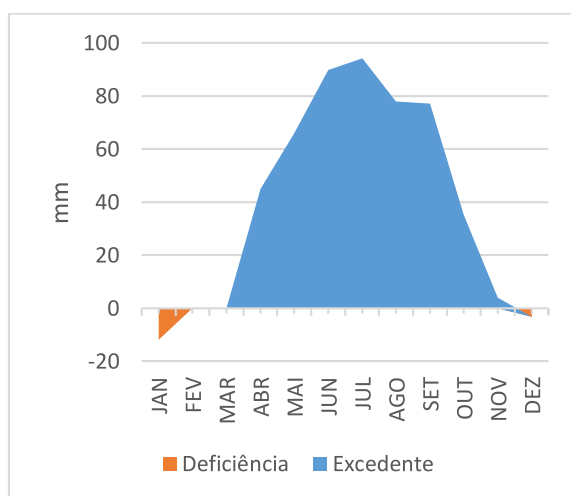
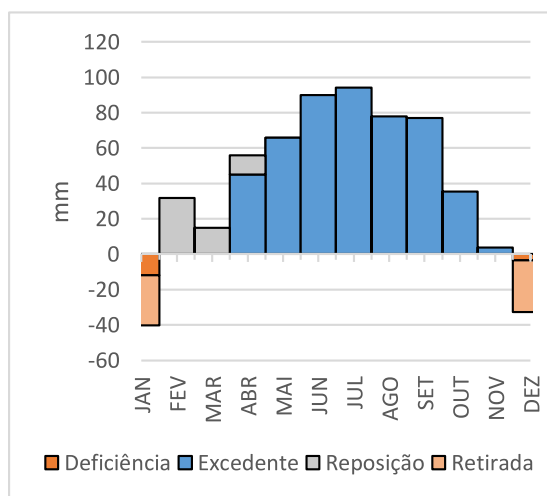


Figura 28: BHCN 1 Completo



Ao analisar as figuras 27 e 28, podemos perceber que ao acumular dos anos da série de vinte e quatro anos, RG possui mais meses com excedente hídrico do que deficiência, levando ao interprete a falsa impressão de que a região em questão seria apta a prospectar estes plantios, tendo somente os meses de dezembro e janeiro críticos para a cultura. Entretanto estes cálculos de BHCN não levam em conta o consumo humano, que na IM está diretamente ligado ao armazenamento do solo. Observa-se que os valores estimados de ETP de maio a setembro ficam abaixo de 50mm/mês, o que se considera subestimado tendo em vista que o cálculo utilizado não levou em conta a aspersão eólica.

#### 4.4.2. Cenário 2: Simulação do BHCN (1993) ano médio.

Para elaboração deste cenário, foi escolhido o ano de 1993, tendo em vista que a precipitação anual acumulada foi de 1214,6mm/ano, ou seja, o ano mais próximo a média de 1226mm/ano apontada por Silva (2019). Novamente foram calculados os valores de ETP com base nos valores de temperatura de cada mês do presente ano conforme a tabela 6. Em vermelho é o mês no qual se iniciou o BHCN e a representação gráfica para o BHCN 2, pode ser visualizada nas figuras 29 e 30 respectivamente.

Tabela 6: BHCN 2

Local: Rio Grande, RS Período: 1993					CAD=150mm					
Meses	TempMéd	P	ETP	P-ETP	Nac	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
JAN	24,3	103,1	136,12	-33,02	-36,77	117,39	-28,9	132	4,12	0
FEV	23,3	108,8	106,75	2,05	-34,17	119,44	2,05	106,75	0	0
MAR	22,9	24	107,29	-83,29	-117,46	68,55	-50,89	74,89	32,4	0
ABR	21,4	32	84,32	-52,32	-169,78	48,36	-20,19	52,19	32,13	0
MAI	16,5	190,1	48,78	141,32	0	150	101,64	48,78	0	39,68
JUN	13,4	67,5	30,27	37,23	0	150	0	30,27	0	37,23
JUL	11,5	117,3	23,67	93,63	0	150	0	23,67	0	93,63
AGO	13,7	148,1	35,22	112,88	0	150	0	35,22	0	112,88
SET	14,5	36,3	41,19	-4,89	-4,89	145,19	-4,81	41,11	0,08	0
OUT	18,5	111,3	73,64	37,66	0	150	4,81	73,64	0	32,85
NOV	20,7	171,1	94,27	76,83	0	150	0	94,27	0	76,83
DEZ	21,5	105	108,75	-3,75	-3,75	146,29	-3,71	108,71	0,04	0
ANO	18,51667	1214,6	890,27	324,33			0	821,5	68,77	393,1
Aferição BHC Normal										
P=ETP+(P-ETP)		105,0								
P=ETR+EXC		108,7								
ETP=ETR+DEF		108,8								
ETP=ETR+DEF		890,3								

Fonte: A autora

Figura 29: BHCN 2 Simples

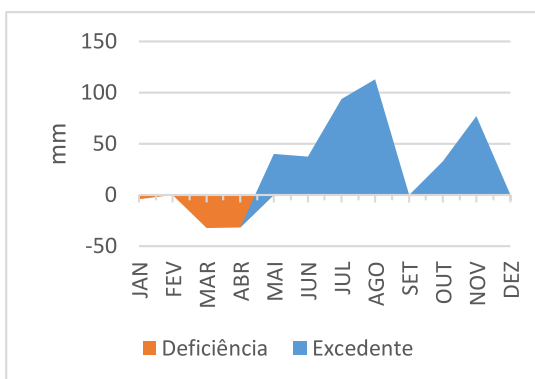
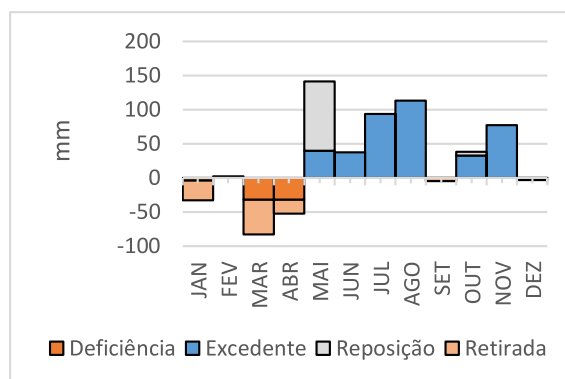


Figura 30: BHCN 2 Completo



Ao analisarmos as figuras 29 e 30, podemos perceber que ao longo deste ano médio, RG apresentou mais meses com excedente hídrico do que deficiência sendo o período de déficit se estendeu de janeiro a abril, somando quatro meses de deficiência para a cultura. Podemos perceber também uma maior retirada (figura 30) de água do solo, principalmente para o mês de março, que acaba sendo reposta em maio. Novamente não foi considerada a aspersão eólica e o consumo humano, subestimando os valores do balanço.

#### 4.4.3. Cenário 3: Simulação do BHCN (1996) ano de déficit.

Para o cenário de déficit, foi escolhido o ano de 1996, tendo em vista que a precipitação anual acumulada foi de 979,9mm/ano, ou seja, a menor da série de 24 anos e o ano mais próximo da precipitação mínima de 625mm/ano apontada por Silva (2019). Foram estimados os valores de ETP de cada mês do presente ano conforme vemos na tabela 7. Em vermelho é o mês no qual se iniciou o BHCN. A representação gráfica para o BHCN 3, pode ser visualizada nas figuras 31 e 32 respectivamente. Neste cenário, novamente não é considerada a aspersão eólica e o consumo humano, ainda subestimando os valores do balanço.

Tabela 7: BHCN 3

Local: Rio Grande, RS Período: 1996					CAD=150mm					
1996	TempMéd	P	ETP	P-ETP	Nac	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
JAN	23,85	97,9	130,84	-32,94	-142,82	57,89	-14,21	112,11	18,73	0
FEV	23,7	132,9	110	22,9	-92,82	80,79	22,9	110	0	0
MAR	23,75	86,8	114,82	-28,02	-120,84	67,02	-13,77	100,57	14,25	0
ABR	20,75	151,5	78,8	72,7	-10,65	139,72	72,7	78,8	0	0
MAI	16,1	3,1	45,78	-42,68	-53,33	105,12	-34,6	37,7	8,08	0
JUN	11,85	70,7	23,22	47,48	0	150	44,88	23,22	0	2,6
JUL	10,45	16,2	19,07	-2,87	-2,87	147,16	-2,84	19,04	0,03	0
AGO	14,9	103,4	40,75	62,65	0	150	2,84	40,75	0	59,81
SET	14,7	57,9	41,53	16,37	0	150	0	41,53	0	16,37
OUT	19,35	141,8	79,6	62,2	0	150	0	79,6	0	62,2
NOV	21,4	29,6	99,93	-70,33	-70,33	93,86	-56,14	85,74	14,19	0
DEZ	23,35	88,1	127,65	-39,55	-109,88	72,1	-21,76	109,86	17,79	0
ANO	18,67917	979,9	912,0	67,91			0	838,92	73,07	140,98
Aferição BHC Normal										
P=ETP+(P-ETP)		979,9								
P=ETR+EXC		979,9								
ETP=ETR+DEF		912,0								

Fonte: A autora.

Figura 31: BHCN 3 Simples

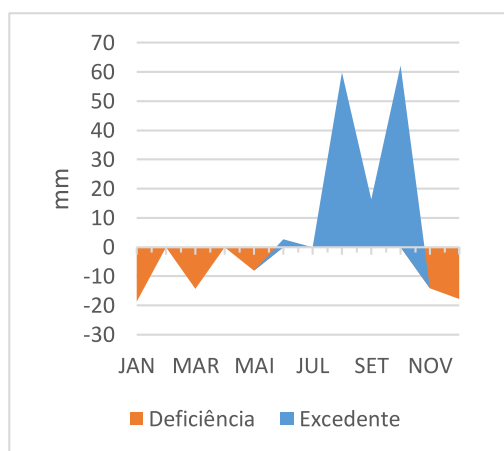
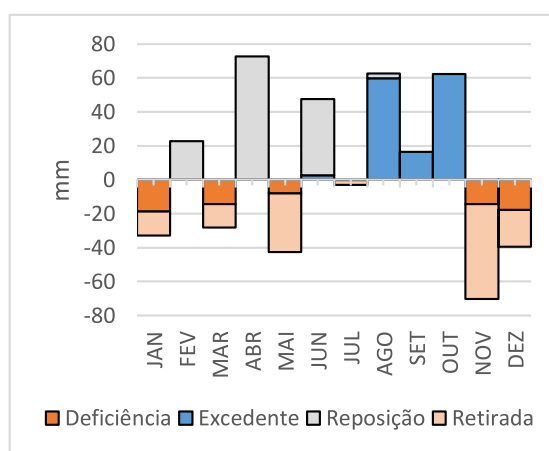


Figura 32: BHCN 3 Completo



Ao analisarmos as figuras 31 e 32, podemos perceber que ao longo deste ano de déficit da série, RG apresentou apenas três meses com excedente hídrico, sendo que outros três meses foram de reposição (figura 32) o que nos mostra deficiência hídrica maior em comparação aos BHCN 1 e 2, sendo a mais significativa e constante, pondo em risco a produtividade. O período de déficit hídrico se estendeu de janeiro a maio e parte de novembro e dezembro, que resultam em seis meses de deficiência para a cultura. Podemos perceber também uma maior retirada (figura 32) de água do solo, principalmente para o mês de novembro e maio.

#### 4.4.4. Cenário 4: Simulação do BHCN (2002) ano de superávit

Para elaboração deste cenário, a análise foi feita considerando o ano de 2002, tendo em vista que a precipitação anual acumulada é de 2262,9mm/ano, sendo este o ano de precipitação máxima apontada por Silva (2019) e da série de 24 anos. Foram estimados os valores de ETP de cada mês do presente ano conforme vemos na tabela 8. Em vermelho é o mês no qual se iniciou o BHCN e a sua representação gráfica pode ser visualizada nas figuras 33 e 34 respectivamente.

Tabela 8: BHCN 4

Local: Rio Grande, RS Período: 2002					CAD=150mm					
2002	TempMéd	P	ETP	P-ETP	Nac	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
JAN	24	368	131,5	236,5	0	150	0	131,5	0	236,5
FEV	22,95	131,1	102,06	29,04	0	150	0	102,06	0	29,04
MAR	24,25	261,2	118,88	142,32	0	150	0	118,88	0	142,32
ABR	19,45	263,2	67,61	195,59	0	150	0	67,61	0	195,59
MAI	18,85	125	60,89	64,11	0	150	0	60,89	0	64,11
JUN	14,6	137,1	33,46	103,64	0	150	0	33,46	0	103,64
JUL	13,55	126,5	30,21	96,29	0	150	0	30,21	0	96,29
AGO	15,15	179,8	40,24	139,56	0	150	0	40,24	0	139,56
SET	14,7	138,6	39,59	99,01	0	150	0	39,59	0	99,01
OUT	20,15	183,8	84,39	99,41	0	150	0	84,39	0	99,41
NOV	21,7	75,9	101,12	-25,22	-25,22	126,79	-23,21	99,11	2,01	0
DEZ	22,7	272,7	118,9	153,8	0	150	23,21	118,9	0	130,59
ANO	19,3375	2262,9	928,85	1334,05			0	926,84	2,01	1336,06
Aferição BHC Normal										
P=ETP+(P-ETP)		2262,9								
P=ETR+EXC		2262,9								
ETP=ETR+DEF		928,9								

Fonte: A autora.

Figura 33: BHCN 4 Simples

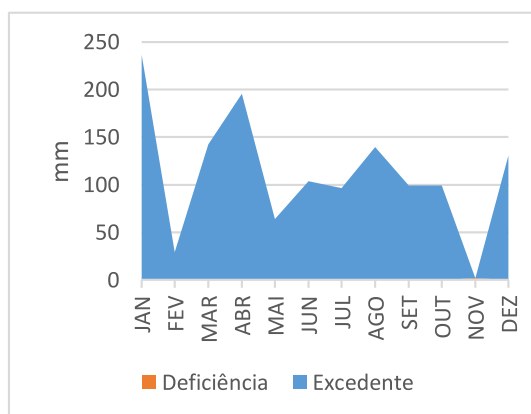
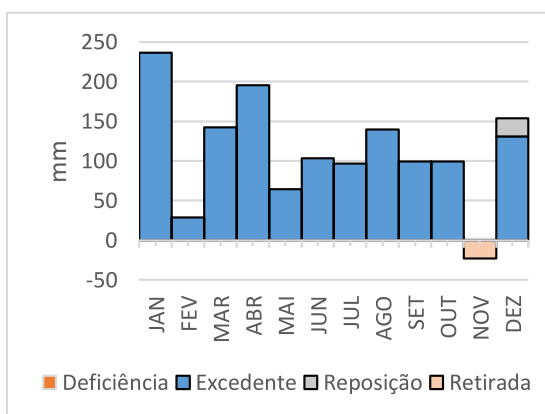


Figura 34: BHCN 4 Completo



Ao analisarmos as figuras 33 e 34, podemos perceber que ao longo deste ano de superávit que a série mal apresenta déficit, sendo visível uma pequena retirada na figura 33, no mês de novembro, só ficando mais visual no mesmo mês na figura 34. RG apresentou um ano com onze meses de excedente hídrico, tendo janeiro uma das maiores precipitações registradas. Somente em novembro ocorre um déficit mínimo, com uma retirada (figura 34) bem discreta. O que nos mostra um ano de excedente hídrico maior em comparação a todos os BHCN anteriores. O período de déficit hídrico foi tão insignificante que nem se torna relevante. Podemos perceber também a única retirada (figura 34) de água do solo foi no mês de novembro, mas também muito discreta. Entretanto deve-se ressaltar que assim como os BHCN anteriores, este não leva em conta o consumo humano e a aspersão eólica, o que pode levar a uma superestimação dos valores.



## 5. CONCLUSÕES

Através das análises NDVI, podemos acompanhar a evolução espaço/temporal das monoculturas de *pinus* na IM de forma parcialmente satisfatória. Esta análise evidencia o ciclo através de SR ao longo de um período de 30 anos, tendo início na segunda metade da década de 80, com seu ápice no final dos anos 90 e consolidado em meados dos anos 2000, e seu declínio/extração a partir dos anos de 2005 a 2009.

Este tipo de análise contribuiu para a compreensão da real periodização da propagação da monocultura, tendo em vista que ao longo das entrevistas com moradores locais, os mesmos relatavam como períodos anteriores aos evidenciados pelas análises. Estes tratamentos também possibilitaram a vetorização das áreas de cultivo pretéritas, possibilitando traçar estratégias para o monitoramento e práticas de manejo.

Já nas análises NDVI 7 e 8 (2014 e 2020), não é mais possível identificar através de SR a presença de espécies de *pinus* no interior da IM, o que demonstra a importância do monitoramento presencial feito ao longo das saídas de campo em 2019 e 2020. Os dados de campo ao serem sobrepostos a análise NDVI 8, demonstram a limitação quando se trata de monitorar a dispersão dos exemplares remanescentes, que ficam imperceptíveis quando dispersos e de baixa densidade foliar (jovens).

É importante salientar que, para exemplares presentes nas matas nativas que circundam a IM, só são possíveis de mapear através de observação por monitoramento presencial pela estrada. Tendo em vista que grande parte das propriedades estão sem manutenção/limpeza nos terrenos, somente os exemplares adultos conseguem ser contabilizados.

Os BHCN mostram que anos onde a precipitação fica na média histórica ou abaixo dela (1226mm/ano), a ocorrência de deficiência hídrica nas culturas é inevitável, principalmente nos meses de verão. Tendo em vista que o BHC não levou em conta o consumo humano na IM e o efeito do vento na evapotranspiração, estes valores podem ser ainda mais críticos, sendo necessária a erradicação de quaisquer plantios que ainda ocorram na IM.

As características ambientais e humanas singulares presentes no ecossistema da IM, apontam que o SE prestado pela preservação natural dos campos de dunas vivas no interior da ilha possui a capacidade hídrica e recarga

de água disponível. O consumo de água por grandes áreas de cultivos de *pinus* afeta diretamente na capacidade de recarga da água disponível aos ilhéus. O que demonstra a necessidade de monitoramento constante para o controle desta espécie invasora dentro deste *habitat* sensível.

Com base nos resultados apresentados, fica evidente que a campanha de monitoramento e erradicação desta espécie dentro da IM deve ser frequente e permanente. Campanhas de campo devem ser traçadas não só nas antigas áreas de monoculturas, como em toda a extensão, tendo em vista a grande capacidade de dispersão e adaptação da espécie ao ambiente, assim como a utilização de novas tecnologias de mapeamento como *drones* com câmeras digitais de alta resolução.

A supressão das espécies adultas presentes tanto dos novos bosques, quantos nas antigas áreas de plantio, assim como as que estão nas matas nativas ao longo de todo perímetro da IM, devem ser realizadas com a maior agilidade possível afim de conter a sua disseminação. Um trabalho de educação ambiental para com os moradores é fundamental, conscientizando os mesmos da importância da retirada destes exemplares para diminuição da competição com as espécies nativas e o consumo de água.

## 6. REFERENCIAS

ATLAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO DA BACIA MARÍTIMA DE PELOTAS. João Luiz Nicolodi (Org). 1 edição. Porto Alegre: Panorama Crítico, 2016.

BRASIL. 1965. Lei Federal 4771/65 que institui o novo Código Florestal.

\_\_\_\_\_. 2006. Lei Federal 11428/06 Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências.

CASTANHA, I. N. P., BAUMGARTEN, M. G. Z., ANDRADE, C. F. F., Influência do monocultivo de Pinus sp. na qualidade da água subterrânea superficial da Ilha dos Marinheiros (Rio Grande, RS), Águas Subterrâneas – Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS). 2021.

CUNHA, N.S. Resiliência sócio ecológica e sustentabilidade do turismo na Ilha dos Marinheiros, Rio Grande (RS). Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande –FURG. Rio Grande. 122p. 2015

Cunha, Noel Gomes da. Estudo dos solos do município de Rio Grande/Noel Gomes da Cunha, et al. - Pelotas. - Pelotas : Universitária/UFPel; EMBRAPA/CPACT; 1996. 74 p.: il. - (Documentos CPACT; 16/96) 1. Solos - Rio Grande. I. Cunha et al. II Título. III Série

EMBRAPA: Pínus na silvicultura brasileira / Jarbas Yukio Shimizu, editor. – Colombo: Embrapa Florestas, 2008.

EOS, NDVI FAQ: Tudo O Que Você Precisa Saber Sobre O Índice. Earth Observing System, 2022. Disponível em: < <https://eos.com/pt/blog/ndvi-faq/>> Acesso em: 26/07/2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados Demográficos 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em 28 de outubro de 2019.

LATTARI, Paulo Georges Zein. Dissertação de mestrado: MODELAGEM DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS HÍDRICOS EM UMA MICROBACIA DO ALTO CORUMBATAÍ – USP/ Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba - SP, 2018.

LONG, T. (1989). Le quaternaire du Rio Grande do Sul. Temoins des quatre derniers épisodes eustatiques majeurs géologie et évolution. *Tese de doutorado*. Universidade de Bordeaux, Bordeaux, France. 189 p.

Plano de Manejo Ambiental da Ilha dos Marinheiros, Rio Grande – RS, 2006.  
Revisão do Plano de Manejo Ambiental da Ilha dos Marinheiros, Rio Grande – RS, 2020

RUHOFF, A. Validação do modelo de estimativa de evapotranspiração mod16 no estado do Rio Grande do Sul (Brasil). *In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 2015, Brasília – DF.

SENTELHAS, P. C., ANGELOCCI, L. R. Balanço Hídrico Climatológico Normal e Sequencial, de Cultura e para Manejo da Irrigação. Disponível em: < [http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/Aula9\\_2012.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/Aula9_2012.pdf) > Acesso em: 20/09/2022.

SILVA, Tamires da Rosa, Dissertação de Mestrado: PRECIPITAÇÃO EM RIO GRANDE – RS (1913 – 2016): ANÁLISE DESCRITIVA E DA VARIBILIDADE. FURG, ICHI – PPGGEO, Rio grande 2019.

SCHMITZ, P. I. Sítios de Pesca Lacustre em Rio Grande, RS Brasil. Ed. Habilis, Erechim, 2011.

TAGLIANI, Paulo Roberto Armanini. Ecologia da paisagem da Restinga da Lagoa dos Patos: uma contribuição para o manejo e conservação da reserva da biosfera. Editora da FURG. Rio Grande 2011.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1)

\_\_\_\_\_. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1957. 311p. (Publications in Climatology, vol.X, n.3)

TOMAZELLI, L.J. & VILLWOCK, J.A. 2000. O Cenozóico Costeiro do Rio Grande do Sul. In: HOLZ, M & DE ROS, L. F. (eds.). Geologia do Rio Grande do Sul. P. 375-406.

TONINI, Helio, Dissertação de Mestrado: CRESCIMENTO EM ALTURA DE *pinus elliottii* ENGELM., EM TRÊS UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLO, NAS REGIÕES DA SERRA DO SUDESTE E LITORAL, NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. UFSM, Pós-graduação em Engenharia Florestal, Santa Maria, RS – Brasil 2000.