

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA**

**ALLAN SAMPAIO PIRES**

**ZONEAMENTO DO POTENCIAL DE PASTEJO DO CAPIM-SUDÃO BRS ESTRIBO  
COM BASE NA ESPACIALIZAÇÃO DE SOMA TÉRMICA NA REGIÃO SUL DO  
BRASIL**

**BAGÉ  
2020**

**ALLAN SAMPAIO PIRES**

**ZONEAMENTO DO POTENCIAL DE PASTEJO DO CAPIM-SUDÃO BRS ESTRIBO  
COM BASE NA ESPACIALIZAÇÃO DE SOMA TÉRMICA NA REGIÃO SUL DO  
BRASIL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Computação aplicada da Fundação Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Computação.

Orientador: Prof. Dr. Alexandro Gularte Schäfer

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Trentin

**BAGÉ  
2020**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

P667z Pires, Allan Sampaio  
Zoneamento do potencial de pastejo do capim-sudão BRS  
Estribo com base na espacialização de soma térmica na Região  
Sul do Brasil / Allan Sampaio Pires.  
83 p.  
  
Dissertação (Mestrado)-- Universidade Federal do Pampa,  
MESTRADO EM COMPUTAÇÃO APLICADA, 2020.  
"Orientação: Alexandro Gularte Schäfer".  
  
1. Capim-Sudão BRS Estribo. 2. Espacialização de dados. 3.  
Soma térmica. 4. Estatística espacial. I. Título.

ALLAN SAMPAIO PIRES

**ZONEAMENTO DO POTENCIAL DE PASTEJO DO CAPIM-SUDÃO BRS ESTRIBO  
COM BASE NA ESPACIALIZAÇÃO DE SOMA TÉRMICA NA REGIÃO SUL DO  
BRASIL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Computação Aplicada da Fundação Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Computação Aplicada.

Área de concentração: Tecnologias para a Produção Agropecuária


Dissertação defendida e aprovada em: 2 de junho de 2020.

Banca examinadora:



---

Prof. Dr. Alexandro Gularte Schäfer  
Orientador  
Unipampa



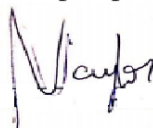
---

Prof. Dr. Davidson Martins Moreira  
CENAI/CIMATEC



---

Prof. Dr. Marcelo Romero de Moraes  
Unipampa



---

Prof. Dr. Naylor Bastiani Perez  
Embrapa Pecuária Sul

Dedico este trabalho a minha família, em especial aos meus pais, que possibilitaram minha trajetória até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Dr. Alexandro Schäfer pela orientação e tempo dedicado a produção deste trabalho.

Ao professor Dr. Gustavo Trentin pela orientação e ensinamentos em uma área até então pouco conhecida por mim.

Aos familiares e amigos que me apoiaram durante esta jornada.

*“Cultivar a ciência pela utilidade prática,  
imediate, é desvirtuar a alma da própria  
ciência.”*

(Malba Tahan, O Homem que Calculava)

## RESUMO

A partir de uma parceria entre Embrapa e Sulpasto, foi desenvolvida uma espécie de forrageira anual de verão, denominada capim-sudão BRS Estribo, onde BRS é a designação dada a todas as cultivares desenvolvidas pela Embrapa, e Estribo é o nome escolhido pelos desenvolvedores do material genético. Devido à origem recente, esta planta ainda necessita-se de informações que relacionam sua produção a parâmetros agroclimáticos como a temperatura do ar e a soma térmica. Portanto, o presente estudo teve como objetivo estimar o potencial de disponibilidade de soma térmica para o cultivo do capim-sudão BRS Estribo, através do processo de espacialização dos dados agroclimáticos da Região Sul do Brasil, e com isso verificar o potencial de pastejo, considerando-se que o pastejo ocorre quando a planta atinge entre 50 e 60 cm de altura, e os animais permanecem até o rebaixamento do pasto, entre 10 e 15 cm de altura. Na metodologia do trabalho foram empregadas técnicas de Machine Learning para a espacialização dos dados de temperatura, operando bases de dados com recursos de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Foram utilizados dados altimétricos em formato matricial da SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial de 90 metros e médias mensais de temperatura compiladas por um período de trinta anos. A espacialização da temperatura foi feita com modelos de regressão, calculados mensalmente em relação à altitude, latitude e longitude. Mais especificamente, usa-se a interpolação por tendência para ajustar os dados da superfície terrestre e o método de limites quadrados ordinários para determinar os coeficientes de regressão das equações de regressão linear. A partir dos modelos de regressão, foram gerados mapas de temperatura média mensal e da soma térmica para todos os meses do ano. Por fim, foram gerados os mapas das somas térmicas relacionadas ao período de produção do capim-sudão BRS Estribo, que fornece entre os meses de outubro a abril, assim como a simulação do número de pastejos possíveis na região. Como resultado verificou-se que no período utilizado para o plantio, o número de pastejos no período considerado ideal para produção variou de 1 a 12, sendo que foram obtidos melhores resultados no noroeste do Rio Grande do Sul e norte do Paraná, e regiões mais frias, que em grande parte possuem altitudes maiores, tem uma menor produção.

Palavras-chave: Capim-Sudão BRS Estribo. Espacialização de dados. Soma térmica. Estatística espacial.



## ABSTRACT

Based on a partnership between Embrapa and Sulcasto, an annual summer forage species was developed, called sudangrass BRS Estribo, where BRS is the name given to all cultivars developed by Embrapa, and Estribo is the name chosen by the developers of the genetic material. Due to its recent origin, this plant still needs information that relates its production to agroclimatic parameters such as air temperature and thermal sum. Therefore, the present study aimed to estimate the potential for the availability of thermal sum for the cultivation of the sudangrass BRS Estribo, through the process of spatialization of agroclimatic data in the South Region of Brazil, and thereby verify the grazing potential, considering grazing occurs when the plant reaches between 50 and 60 cm in height, and the animals remain until the lowering of the pasture, between 10 and 15 cm in height. In the work methodology, Machine Learning techniques were used for the spatialization of temperature data, operating databases with resources from Geographic Information Systems (GIS). Altimetric data in matrix format from SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) with spatial resolution of 90 meters and monthly temperature averages compiled over a period of thirty years were used. The temperature spatialization was done with regression models, calculated monthly in relation to altitude, latitude and longitude. More specifically, trend interpolation is used to adjust the Earth's surface data and the ordinary square limit method to determine the regression coefficients of the linear regression equations. From the regression models, maps of average monthly temperature and thermal sum were generated for all months of the year. Finally, the maps of the thermal sums related to the production period of the sudangrass BRS Estribo, which it provides between the months of October to April, were generated, as well as the simulation of the number of possible grazing in the region. As a result, it was found that in the period used for planting, the number of grazing in the period considered ideal for production ranged from 1 to 12, with better results being obtained in the northwest of Rio Grande do Sul and northern Paraná, and more cold, which to a large extent have higher altitudes, has a lower production.

Keywords: Sudangrass BRS Estribo. Data spatialization. Thermal sum. Spatial statistics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem do capim-sudão BRS Estribo .....	17
Figura 2 - Diagrama de etapa da espacialização das temperaturas.....	36
Figura 3 - Dados Altimétricos da Região Sul e estações meteorológicas .....	40
Figura 4 - Temperatura média do ar na Região Sul.....	50
Figura 5 - Temperatura média das cidades da Região Sul .....	51
Figura 6 - Análise dos pontos de maior incidência mês a mês.....	52
Figura 7 - Gráfico de dispersão da temperatura do ar em relação à latitude .....	54
Figura 8 - Gráfico da dispersão da temperatura em relação à altitude .....	54
Figura 9 - Gráfico de dispersão da temperatura do ar em relação à longitude .....	55
Figura 10 - Temperatura média do ar na Região Sul.....	58
Figura 11 - Potencial de soma térmica mensal .....	63
Figura 12 - Comparação da soma térmica em diferentes períodos.....	65
Figura 13 - Número de pastejos do capim-sudão BRS Estribo semeado em outubro.....	67
Figura 14 - Número de pastejos do capim-sudão BRS Estribo semeado em novembro.....	68
Figura 15 - Número de pastejos do capim-sudão BRS Estribo semeado em dezembro .....	69
Figura 16 - Número de pastejos do capim-sudão BRS Estribo semeado em janeiro .....	70
Figura 17 - Número de pastejos do capim-sudão BRS Estribo semeado em fevereiro.....	71
Figura 18 - Percentual de área em relação ao número de pastejos .....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das temperaturas médias do ar em graus (°C).....	38
Tabela 2 - Relação entre número de pastejos e soma térmica .....	46
Tabela 3 - Equações de regressão linear para temperaturas médias mensais .....	55
Tabela 4 - Resultados do modelo referentes a $R^2$ e $R^2$ Ajustado.....	56
Tabela 5 - Resultados do modelo referentes aos coeficientes de altitude, longitude e latitude	59
Tabela 6 - Variação necessária de altitude, longitude e latitude para a variação de 1 °C .....	59
Tabela 7 - Resultado do teste T para as variáveis de altitude, longitude e latitude.....	60
Tabela 8 - Equações de regressão linear para a soma térmica mensal .....	62
Tabela 9 - Equações de regressão linear para a soma térmica acumulada por período.....	64
Tabela 10 - Percentual de área (%) relacionado ao número de pastejos .....	66

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>GIS</b>	Geographic Information System
<b>IDW</b>	Inverse Distance Weighted
<b>KED</b>	Kriging with External Drift
<b>MDE</b>	Modelo Digital de Elevação
<b>NN</b>	Nearest Neighborhood
<b>OK</b>	Ordinary Kriging
<b>OLS</b>	Ordinary Least Squares
<b>PIB</b>	Produto Interno Bruto
<b>SIRGAS</b>	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
<b>SKlm</b>	Simple kriging with Varyng Local Means
<b>SRTM</b>	Shuttle Radar Topography Mission
<b>TAIF</b>	Taxa de Alongamento
<b>VIF</b>	Variance Inflation Factor

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\beta$	Coeficiente de Regressão
$\varepsilon$	Resíduo

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	16
1.1	Problema de pesquisa .....	19
1.2	Justificativa.....	19
1.3	Objetivos .....	21
1.3.1	Objetivos geral .....	21
1.3.2	Objetivos específicos.....	22
1.4	Organização do texto.....	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	23
2.1	Capim-sudão BRS Estribo .....	23
2.2	Necessidades agroclimáticas .....	24
2.3	Temperaturas .....	24
2.4	Espacialização das temperaturas do ar .....	26
2.5	Estudos correlatos .....	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	35
3.1	Definição do tipo de pesquisa .....	35
3.2	Etapas do método .....	35
3.2.1	Preparação da base de dados .....	36
3.2.2	Machine Learning .....	39
3.2.3	Regressão linear .....	41
3.2.4	Mínimos quadrados ordinários.....	42
3.2.5	Espacialização da temperatura média mensal .....	43
3.2.6	Cálculo da soma térmica .....	44
3.2.7	Simulação do número de pastejos .....	45
3.2.8	Avaliação do modelo.....	46
4	RESULTADOS .....	49

4.1	Análise dos dados.....	49
4.1.1	Análise de Hot Spot.....	50
4.2	Influência da altitude, longitude e latitude na temperatura do ar .....	53
4.3	Resultado da espacialização das temperatura.....	55
4.3.1	Avaliação dos resultados do modelo .....	56
4.4	Resultado da espacialização da soma térmica mensal .....	60
4.5	Resultado da espacialização da soma térmica acumulada .....	64
4.6	Mapa dos números de pastejos.....	65
5	CONCLUSÕES .....	73
	REFERÊNCIAS.....	76

## 1 INTRODUÇÃO

A pecuária de corte é desenvolvida em todos os estados e ecossistemas do Brasil. Apresentando uma vasta variedade de sistemas de produção, esta atividade varia desde a pecuária extensiva, baseada em pastagens nativas e cultivadas de baixa produtividade que necessitam de pouco uso de insumos, até a denominada pecuária intensiva, com pastagens de alta produtividade, suplementação alimentar em pasto ou confinamento. Todavia, em qualquer sistema de produção, a atividade é caracterizada pelo uso de pastagens (CEZAR *et al.*, 2005).

Segundo dados da ABIEC (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDUSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE, 2018), o Brasil registrou crescimento no Produto Interno Bruto (PIB) no ano de 2018, atingindo R\$ 6,83 trilhões, sendo que o PIB referente a pecuária somou R\$ 597,22 bilhões, 8,3% acima dos R\$ 551,41 bilhões apurados no ano anterior. Com isso, o PIB da pecuária subiu sua participação para 8,7% do PIB total brasileiro. Nos estados da Região Sul do Brasil o Rio Grande do Sul é o maior produtor, com uma estimativa de participação de 6,30% do rebanho total brasileiro, e mantendo-se praticamente estável, apresentando apenas um crescimento de 0,04% de sua produção nos últimos 10 anos. Em seguida o estado do Paraná, que apresenta 4,42% do rebanho nacional e uma diminuição de sua produção na última década de aproximadamente 0,40%. E por último o estado de Santa Catarina, com uma participação de 1,97% no rebanho total brasileiro, porém com um grande crescimento de sua produção nos últimos 10 anos, estimando-se 21,44% de crescimento.

Devido a expansão das áreas de soja, um dos grandes desafios da Região Sul do Brasil é aumentar a eficiência e a competitividade da atividade pecuária, tornando-a mais atraente econômica e competitivamente. Muitas vezes ocorre redução da disponibilidade de áreas no verão em sistemas de integração lavoura-pecuária, que pode ser definido como o sistema que busca de forma harmônica a diversificação, rotação, consorciação e/ou sucessão das atividades de agricultura e de pecuária em uma propriedade rural, visando um melhor aproveitamento do espaço e conseqüentemente um maior retorno financeiro (ALVARENGA; NOCE, 2005). Por isso necessita-se de utilização de pastagens que possibilitem uma elevada carga animal em rotação com a agricultura. No âmbito do planejamento de produção forrageira, a regulação apropriada da carga animal em áreas de pastagem nativa pode ser atingida levando em consideração a complementação das pastagens cultivadas de verão em situações onde pretende-se verticalizar a produção. Esta intensificação deve ser realizada de maneira que garanta sustentabilidade dos recursos naturais assim como o aumento da



lucratividade (REGERT *et al.*, 2015). Dentro deste cenário de maximização da produção, existe a gramínea capim-sudão (*Sorghum sudanense*), sendo resultado de um híbrido natural entre o *S. bicolor* e *sorghum arundinaceum*, e originalmente encontrado na região que se estende do sul do Egito até o Sudão. Foi introduzida nos Estados Unidos no ano de 1909 e rapidamente tornou-se popular, sendo também largamente utilizada na Rússia e no leste da Europa (ARUNA *et al.*, 2018). Esta planta é cultivada para pastagem, silagem e feno. Relata-se que o capim-sudão é tolerante a antracnose, doenças, seca, fungo, pastoreio, alto valor de pH do solo, calor, vírus, ervas daninhas entre outros (BIBI *et al.*, 2010). Com a intenção de utilização de plantas adequadas às especificidades da região, foi apresentado em 2013, a espécie de forrageira anual de verão denominada cultivar de capim-sudão BRS Estribo, desenvolvida através de seleção genética do capim-sudão, sendo o resultado de uma parceria entre Embrapa e Sulpasto. A palavra cultivar significa variedade cultivada, e significa que foi cultivada pelo homem com a intenção de apresentar características específicas e com isso, tornar-se mais atrativa para os produtores (HAYNES, 2008). O termo "BRS Estribo" é o nome dado a cultivar, sendo a que a palavra BRS é a primeira parte do nome dada as cultivares produzidas pela Embrapa e a segunda parte é uma escolha dos desenvolvedores do material genético. Na Figura 1 podemos observar uma foto da cultivar de capim-sudão BRS Estribo.

Figura 1 – Imagem do capim-sudão BRS Estribo



Fonte: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Pecuária Sul (2020)

Segundo Bergamim (2016), dados do Relatório Anual de Avaliação dos Impactos das tecnologias disponibilizado pela Embrapa (SANTOS; SILVA; TONINI, 2019), em 2015 foram cultivadas 310 mil hectares com capim-sudão BRS Estribo, em áreas de produção de carne e leite. Considerando-se somente o valor gerado com a produção de carne, é possível observar que em cada hectare que foi utilizada a tecnologia BRS Estribo atingiu-se, em média, 24 quilos a mais de produção que o proporcionado pela forrageira anteriormente utilizada, neste caso, o sorgo-forrageiro. Ainda segundo dados da Emater no ano de 2015, o preço do boi vivo custava R\$ 5,30. Multiplicando este número pelos 310 mil hectares plantados proporcionou-se um ganho adicional de R\$ 36 milhões somente em carne. Nos anos seguintes houve um aumento das áreas plantadas com capim-sudão BRS Estribo, chegando a 542,5 mil hectares no ano de 2018 (SANTOS; SILVA; TONINI, 2019).

A produção leiteira também está sendo contemplada com alguns estudos recentes, que relacionam a utilização do capim-sudão BRS Estribo com a produção de leite de bovinos. No estudo de Silva *et al.* (2018) foram utilizados 6 espaços para colocação dos animais, com área aproximada de 2 hectares, onde plantio desta cultivar foi realizado em novembro de 2015. Os tratamentos utilizados foram capim-sudão BRS Estribo não irrigado e capim-sudão BRS Estribo irrigado, mostrando que o segundo apresentou uma superioridade na produção leiteira, porém devida a boa disponibilidade de chuvas no período acredita-se que o resultado positivo não possa ser atribuído unicamente a irrigação. O estudo é recente e ainda necessita de aprofundamento, mas pode perceber-se potencial na utilização desta planta na produção leiteira. Estudos também mostram a viabilidade da técnica de Pasto Sobre Pasto, que é o conjunto de práticas que visa a utilização de mais de uma espécie forrageira na mesma área, para a obtenção de uma maior estabilidade e distribuição de forragem ao longo do ano. Com isso, é possível inaugurar um novo ciclo de desenvolvimento da planta sem a necessidade de remover as plantas forrageiras em produção (SILVEIRA; MONTARDO; SANT'ANNA, 2019).

Esta pesquisa utilizou o capim-sudão em conjunto com o azevém e trevo branco, após dois anos de observações, concluiu-se que esse procedimento pode proporcionar ganhos reais na produção na Região Sul, principalmente para sistemas de integração lavoura-pecuária, aumentando o rendimento tanto para a lavoura quanto para a pecuária. Pode-se afirmar o capim-sudão BRS Estribo proporciona um impacto bioeconômico positivo na produção de bovinos, podendo proporcionar um melhor balanço entre custo e produtividade, resultando num melhor retorno econômico para o produtor (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA

AGROPECUÁRIA, 2017). Devido a importância desta atividade produtiva, não só para a região, mas como para o país, torna-se importante o estudo das variáveis agroclimáticas que possibilitam maximizar os resultados de produção da cultivar e consequentemente da atividade pecuária. Uma das variáveis agroclimáticas que podem ser relacionadas ao desenvolvimento vegetal é a temperatura média do ar. Para isso podemos utilizar o sistema de unidades térmicas ou graus-dia, onde considera-se uma temperatura mínima abaixo da qual o vegetal tem seu desenvolvimento paralisado, também conhecido como temperatura-base. A unidade graus-dia pode ser definida como a quantidade de calor efetivamente acumulada ao longo do dia e conveniente para o crescimento do vegetal (BRUNINI *et al.*, 1976).

### **1.1 Problema de pesquisa**

O problema de pesquisa deste trabalho consiste em estimar o número de pastejos do capim-sudão BRS Estribo na Região Sul nos períodos de cultivo desta planta (entre os meses de outubro e abril), e assim verificar os locais de maior potencial de produção, aplicando para isso, técnicas de espacialização de dados meteorológicos da temperatura média do ar.

### **1.2 Justificativa**

Na produção animal o baixo custo, boa produtividade aliados a qualidade da forragem, são fatores fundamentais para o êxito do negócio, pois um dos principais fatores no custo da produção é referente a alimentação animal. Estima-se que mais de 50% dos gastos diários com gado leiteiro são decorrentes de sua alimentação. Outro fator que eleva o custo de produção é a escassez de alimentos em épocas de entressafra e seca, por exemplo (PENNA *et al.*, 2010).

Por isso, é importante a utilização de plantas adequadas às particularidades da região, que busquem aumentar a eficiência de utilização de recursos naturais, aumentando assim a viabilidade econômica da atividade pecuária, retornando maiores lucros para o produtor. Uma possibilidade para ocorrência deste cenário é a utilização da espécie forrageira capim-sudão BRS Estribo, que vem apresentando bons resultados quando manejado corretamente. Esta cultivar oferece ao mercado sementes certificadas e vantagens importantes em relação à espécie comum e outras variedades encontradas na Região Sul do Brasil. Em relação ao período, o capim-sudão BRS Estribo oferece um ciclo de produção mais longo, possibilitando

o início do pastejo entre 20 dias e um mês antes do milho e do sorgo forrageiro, devido a possibilidade de plantio antecipado em algumas regiões (meados de setembro e outubro). Esta cultivar apresenta também maior produtividade ao final do mês de abril e início de maio, resultando em um mês a mais de disponibilidade de forragem para o consumo dos animais quando comparado ao sorgo, por exemplo, que tem a finitude de seu ciclo entre março e abril. Outra comparação feita com o sorgo forrageiro é em relação à toxicidade aos animais, pois enquanto o capim-sudão BRS Estribo não apresenta risco nenhum aos animais, o sorgo forrageiro apresenta risco de intoxicação nos estágios iniciais. O capim-sudão BRS Estribo apresenta boa resposta com relação a valores nutritivos, porém ressalta-se que esta característica encontra-se intrinsecamente ligado ao manejo efetuado, sendo que plantas bem manejadas apresentam bom valor nutritivo enquanto as que tiveram um pior manejo não apresentam os mesmos bons resultados. O manejo desta cultivar é mais flexível com relação às possibilidades de uso sob pastejo contínuo ou intermitente, mostrando-se um ponto marcante que, em conjunto com a maior produtividade e o ciclo mais longo, tem tornado o uso desta planta bastante interessante para os produtores (SILVEIRA *et al.*, 2015).

A época de plantio do capim-sudão na Região Sul do Brasil engloba um amplo período, que vai desde o início de setembro até fevereiro. Enquanto em grande parte do estado do Rio Grande do Sul o período de melhor resposta é partindo do mês de outubro até o mês de fevereiro, os estados de Santa Catarina (litoral e região oeste) e do Paraná (exceto regiões com altitude superior a 600 metros) apresentam melhor momento para plantio no final de setembro até fevereiro. Nas zonas restantes de Santa Catarina e Paraná as semeaduras podem ser realizadas a partir da metade do mês de outubro até fevereiro. Observa-se que as maiores produções ocorrem nas semeaduras em outubro reduzindo até fevereiro, e plantios mais tardios se adequa apenas em condições mais específicas de uso. Isto explica-se devido a diminuição das temperaturas em maio e seus meses subsequentes (SILVEIRA *et al.*, 2015).

O desenvolvimento do capim-sudão BRS Estribo está diretamente relacionado a fatores agroclimáticos, dentre eles a temperatura do ar. Embora as temperaturas não correspondam a o único fator limitante para o crescimento desta planta, pois deve-se considerar a disponibilidade hídrica, ocorrência de geadas e outros fatores, a temperatura constitui-se elemento de grande relevância no que tange à sua época de plantio e o seu manejo (RUELAS, 2018). Uma maneira simples de relacionar o desenvolvimento das plantas com as necessidades climáticas é o uso do sistema de unidades térmicas ou graus-dia, também conhecida como soma térmica. Nesta metodologia, pondera-se uma temperatura mínima

abaixo da qual a planta cessa seu desenvolvimento (temperatura-base) e subtrai-se a temperatura média diária, obtendo-se assim o total de graus-dia, que pode ser definido, segundo Brunini *et al.* (1976), como “a quantidade de calor efetivamente acumulada durante o dia e favorável ao crescimento vegetal”. Ainda segundo o autor, pode observar-se, que o total de graus-dia de qualquer planta varia em função de elementos climáticos e da data de plantio. Este sistema também é conhecido como soma térmica.

Apesar de existirem registros de temperatura do ar feitos por satélite, abrangendo áreas contínuas, atualmente boa parte destes registros são pontuais, disponíveis apenas para os locais em que se realiza a sua medição, ou seja, nos locais em que existem estações climatológicas. Para que seja possível extrapolar esses valores de temperatura para qualquer ponto de uma área é possível utilizar técnicas de interpolação. A interpolação espacial converte as informações de observação pontuais em campos contínuos, produzindo padrões espaciais contínuos para comparação com outras entidades espaciais contínuas. Estas técnicas presumem que os valores do atributo inclinam-se a similaridade em locais mais próximos (CARVALHO; ASSAD; PINTO, 2012). Devido à isso, pode-se aplicar interpolação por tendência, utilizando os dados existentes, para a obtenção de imagens matriciais de latitude e longitude. Este processo serve para criar uma superfície que varia gradualmente, utilizando polinômios de baixa ordem para descrição de um processo físico (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2016). Sabendo-se que a temperatura do ar pode ser influenciada por diversos fatores, dentre eles a variação de altitude (FRITZSONS; MANTOVANI; AGUIAR, 2008), é possível montar um modelo para prever os valores de temperaturas nas áreas carentes de dados empregando técnicas de estatística espacial. O método utilizado neste trabalho faz uso de equações de regressão linear, juntamente com o método, considerado como uma técnica de *Machine Learning* de predição (BENNETT, 2017), dos mínimos quadrados ordinários para a determinação dos coeficientes de regressão e também da constante de regressão.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivos geral**

O objetivo geral desta pesquisa é estimar o potencial de disponibilidade de soma térmica para o cultivo do capim Sudão, através do processo de espacialização dos dados

agroclimáticos da Região Sul do Brasil, e com isso estimar o potencial de pastejo considerando a forma intermitente de manejo.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Podemos elencar os objetivos específicos deste trabalho da seguinte forma:

- Discutir as variações das somas térmicas mensais e acumuladas nos diferentes períodos de semeadura nas diferentes regiões geográficas da Região Sul do Brasil;
- Verificar a influência de fatores geográficos (latitude, longitude e altitude) na temperatura média mensal;
- Analisar os dados disponíveis de temperatura média do ar;
- Estimar o número de pastejos possíveis na Região Sul a partir da soma térmica;
- Determinar a influência da localização geográfica e altitude no potencial de produção do capim-sudão BRS Estribo na Região Sul.

### **1.4 Organização do texto**

Este documento é dividido em cinco capítulos que estão organizados da seguinte forma: No capítulo 2 encontra-se a revisão da literatura, que estabeleceu a fundamentação teórica para o manejo do capim-sudão, assim como as técnicas para a espacialização de dados. O capítulo 3 denominado metodologia, são apresentadas as etapas do método para a construção dos modelos. No capítulo 4, intitulado resultados, foram apresentados os resultados das análises dos dados, avaliação do modelo, além da espacialização de dados da temperatura média do ar, soma térmica, soma térmica acumulada e simulação do número de pastejos. E por fim, no capítulo 5 nomeado conclusões, encontram-se as considerações finais deste trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados conceitos relativos aos objetivos da pesquisa. Nas seções seguintes serão visto conteúdos referentes ao capim-sudão BRS Estribo, espacialização dos dados climáticos assim como a apresentação de trabalhos correlatos.

### 2.1 Capim-sudão BRS Estribo

O capim-sudão BRS Estribo é uma forrageira, típica de clima quente, anual, porte alto e hábito ereto, não apresentando toxicidade aos animais que dela se alimentam. Esta cultura se harmoniza em diferentes tipos de solo e apresentando tolerância à deficiências hídricas, o que a torna bem adaptada aos estados da Região Sul do Brasil. Esta cultivar foi resultado de processos de seleção no material genético do capim-sudão comum que encontra-se no estado do Rio Grande do Sul. O objetivo buscado com este aprimoramento foi a maior produtividade, o que resultou não só em um material rendoso, mas também mais rústico e com alto perfilhamento. Apresenta também maior tolerância ao pisoteio e pastejo e colmo mais fino que o capim-sudão comum, proporcionando assim, que o rebaixamento do pasto seja alcançado apenas com o pastejo, não sendo necessário roçadas frequentes durante o ciclo de produção (SILVEIRA *et al.*, 2015).

A Embrapa Pecuária Sul realizou estudos sobre o capim-sudão BRS Estribo, e através do monitoramento das características morfológicas da planta conclui-se que no mês de março de 2015, no momento que as plantas encontravam-se estabelecidas e em crescimento, os perfilhos apresentaram em média, folhas de 26 cm, tendo uma taxa de alongamento (TAIF) de aproximadamente 0,27 cm/perfilho/dia, e a cada 4 dias uma nova folha nos perfilhos surgia. Sendo que o número de folhas vivas é uma constante genotípica e particular para cada planta, para esta espécie manter viva cerca de 8 folhas por perfilho, teve-se uma taxa de senescência de 1,79 cm/perfilho/dia, tendo uma duração média de vida de 31 dias. O alongamento do colmo teve uma taxa de 1,4 cm/perfilho/dia de alongamento. Observou-se um bom resultado em termos de valores nutritivos, salientando-se que esta característica depende do manejo adotado. Este ponto torna-se relevante pois, o capim-sudão BRS Estribo mostra-se bastante flexível em relação às possibilidades de uso sob pastejo contínuo ou intermitente, sendo assim um ponto destacado, que relacionado a maior produtividade e ciclo mais longo, proporciona o interesse dos produtores por estas plantas (SILVEIRA *et al.*, 2015).

## 2.2 Necessidades agroclimáticas

Os efeitos da temperatura na fotossíntese e respiração da planta são os principais fatores que determinam o crescimento das plantas e sua resposta às mudanças ambientais. Fatores climáticos, isolados ou em combinação, podem limitar a produção de pastagens e podem afetar os ciclos biogeoquímicos e as quantidades de carbono de diferentes maneiras. Os extremos climáticos podem afetar direta e indiretamente os sistemas de pastagem alterando a fisiologia e o comportamento das plantas, com impactos na produtividade, bem como na sazonalidade e qualidade da produção de pastagens (SÁNDOR *et al.*, 2018).

A disponibilidade hídrica no solo é de grande importância para o desenvolvimento do capim-sudão BRS Estribo, sendo que períodos de deficiência atrasam a germinação da semente, enquanto o excesso de água em períodos superiores a quatro dias logo em seguida a semeadura, diminuem a germinação em no mínimo 30%. Esta planta se mostra resistente a longos períodos de estiagem, sob a condição de que o solo permaneça com umidade de no mínimo 20%. As consequências da deficiência hídrica são minimizados com semeadura em períodos de menor risco de deficiência hídrica, assim como práticas que propiciem o armazenamento de água no solo, tais como semeadura por plantio direto e irrigação (SILVEIRA *et al.*, 2015).

## 2.3 Temperaturas

Assim como a disponibilidade de água e nutrientes, a temperatura é um dos fatores fundamentais para o desenvolvimento dos organismos na totalidade dos ecossistemas terrestres. A temperatura é possivelmente o fator ambiental abiótico mais amplamente reconhecido da vida vegetal em ecossistemas de alta altitude. Embora a umidade e os nutrientes possam variar de um lugar para outro, sem um padrão latitudinal ou elevacional sistemático, supõe-se que a temperatura média siga padrões globalmente consistentes com a altitude, associados ao declínio da pressão atmosférica. Por isso, é prática comum confiar em dados de estações meteorológicas para descrever as condições do habitat ou definir e modelar grupos de espécies de plantas (KÖRNER; HILTBRUNNER, 2018).

Um modo de relacionar a temperatura média do ar com o desenvolvimento vegetal é o uso do sistema de unidades térmicas ou graus-dia, onde considera-se uma temperatura mínima abaixo da qual o vegetal paralisa seu desenvolvimento, chamado também de temperatura-



base. A definição de graus-dia pode ser descrita como a quantidade de calor efetivamente acumulada ao longo do dia e conveniente para o crescimento do vegetal (BRUNINI *et al.*, 1976).

O capim-sudão BRS Estribo desenvolve-se com temperaturas do ar entre 11 °C e 34 °C, considerando-se 30°C como o ideal para desenvolvimento e crescimento da planta. Quando expostas a temperaturas críticas, próximas ao ponto de congelamento, danos foliares letais irão ocorrer, inicialmente nas folhas superiores e de acordo com a idade dos tecidos, tempo de exposição e condições nutricionais, o ciclo da planta poderá ser finalizado. O encerramento do ciclo também ocorrerá em casos de temperaturas inferiores a 8°C e rebaixamento do pasto inferiores a 15 cm, entretanto, observa-se que em plantas acima desta altura, esta temperatura é letal para as folhas novas, porém a base da planta e as folhas antigas sobrevivem e mantêm crescimento razoável. Caso a temperatura crítica persista por dias consecutivos, observa-se grande comprometimento da planta, ocasionando assim, o fim do ciclo de utilização (SILVEIRA *et al.*, 2015).

Experimentos realizados na Embrapa Pecuária Sul, localizada em Bagé no Rio Grande do Sul (MALCORRA *et al.*, 2016), avaliaram diferentes metodologias de determinação de soma térmica para a duração do subperíodo de semeadura e emergência do capim sudão BRS Estribo. Esta espécie foi semeada em três períodos distintos, sendo a primeira semeadura realizada no dia sete de janeiro (07/01), a segunda no dia quinze de fevereiro (15/02) e a última semeadura no dia vinte e nove de fevereiro (29/02) do ano de 2016. Foram utilizados seis vasos plásticos com capacidade de sete litros em cada módulo da casa de vegetação, onde foram semeadas vinte sementes, tendo acompanhamento diário das plantas, a emergência do vegetal é considerada quando 50% das plantas atingiram 1 cm de altura. Para obtenção das temperaturas foram usados mini-abrigos instalados na parte central de cada módulo. O armazenamento dos dados da temperatura do ar foi realizado a cada 15 minutos e assim gerando-se as máximas, médias e mínimas diárias das temperaturas do ar. Considerando-se a soma térmica diária e temperatura média, calculada pela média aritmética da temperaturas máximas e mínimas, calculou-se a temperatura ótima e temperatura máxima para o desenvolvimento da planta.

Foram observados que na semeadura 1 a temperatura mínima ocorreu no módulo frio com 14,9 °C e 35,6 °C como temperatura máxima. Na segunda semeadura obtiveram 16,8 °C como temperatura mínima e 42,9 °C como temperatura máxima. E na semeadura 3, 14,7 °C foi a temperatura mínima no módulo frio e 42,1 °C na temperatura máxima. As temperaturas

médias das sementeiras 1,2 e 3 foram respectivamente 22,6 °C, 23,5 °C e 21,2 °C. Ainda segundo os autores do trabalho “nas três épocas de sementeira as maiores médias foram encontradas na segunda sementeira para os três módulos de temperatura” (MALCORRA *et al.*, 2016).

## 2.4 Espacialização das temperaturas do ar

A agrometeorologia é uma ciência interdisciplinar em que as principais disciplinas científicas envolvidas são ciências atmosféricas e ciências do solo, que preocupam com o meio físico, e ciências das plantas e animais, que lidam com o conteúdo da biosfera. Possui natureza interdisciplinar, pois compreende interações entre física e biologia (MAVI; TUPPER, 2004).

Percebendo que a temperatura do ar é um elemento meteorológico fundamental para o desenvolvimento da planta, condicionando o ciclo e a duração das fases fenológicas da planta, conclui-se que seu estudo é importante para a prescrição de época de sementeira, irrigação, determinação de potencial de produtividade, crédito e seguro agrícola (BARDIN; PEDRO JÚNIOR; MORAES, 2010).

Segundo Tveito (2007), a temperatura é um elemento bastante fácil de usar como exemplo para a espacialização. Ao contrário, por exemplo, da precipitação, é um elemento contínuo no espaço e no tempo e tem uma forte co-variação com características topográficas. Portanto, é relativamente fácil compensar os valores que deverão estar presentes para a suposição dos valores de temperatura. Uma abordagem que tem sido amplamente aplicada é o método chamado krigagem residual. Consiste em dois componentes: um modelo determinístico e um modelo residual estocástico. O modelo determinístico é geralmente baseado na relação entre temperatura e diferentes características topográficas, de uso da terra e outras características fisiográficas. A escolha dos parâmetros a serem incluídos no modelo determinístico depende das condições climáticas regionais na área a ser mapeada, do acesso a conjuntos de dados externos a serem utilizados como preditores. No entanto, tornou-se comum a aplicação de um modelo determinístico multivariado incluindo vários parâmetros explicativos. A regressão linear múltipla é o método mais utilizado para estabelecer os modelos determinísticos. Para médias de longo prazo de temperaturas mensais, sazonais ou anuais, diferentes modelos determinísticos são estabelecidos para cada mês ou estação, mostrando uma variabilidade sazonal que representa as diferentes características do clima entre as estações. Se a área de estudo for grande, o modelo determinístico pode ser

regionalizado, por exemplo, estimando os parâmetros do modelo dentro de uma janela móvel ou suavizado entre os modelos desenvolvidos para regiões específicas. A circulação atmosférica afetará a distribuição espacial da temperatura e essa influência também pode ser identificada no modelo determinístico. O campo residual restante pode ser interpolado aplicando-se qualquer método de interpolação espacial (TVEITO, 2007).

Um dos métodos que pode ser utilizado para estes casos é conhecido como interpolação por tendência. Esta técnica utiliza uma interpolação polinomial global que se ajusta a uma superfície definida por uma função matemática polinomial para os pontos de amostra de entrada. Esta superfície muda gradualmente e captura padrões de escala nos dados. Este processo resulta em uma superfície suave que representa tendências graduais na superfície sobre a área de interesse. É utilizada geralmente para colocar uma superfície nos pontos da amostra quando esta varia gradualmente de região para região na área de interesse. Este processo serve para criar uma superfície gradualmente variável usando polinômios de baixa ordem para descrição de um processo físico (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2016).

Pode-se também afirmar que o mapeamento de campos homogêneos de elementos climáticos utiliza equações lineares, das quais variáveis de fatores geográficos são envolvidos acarretando numa facilitação a delimitação das regiões limítrofes destes campos, tornando também a representatividade destes campos mais próxima da realidade, considerando que as cartas temáticas poderão ter o mesmo sistema de georreferenciamento como base de dados (MEDEIROS *et al.*, 2005).

O estudo da temperatura do ar se dá através de diversas modalidades, como máximas, médias e mínimas, e escalas como anual, mensal, quinzenal, decendial, diária e horária. Estes dados são coletados através de estações meteorológicas, porém estas nem sempre encontram-se em distribuição geograficamente satisfatória e em número suficiente. Por isso busca-se métodos de estimativas de padrões meteorológicos em regiões ou locais carentes de medição. Por isso diversas pesquisas têm dado ênfase à estimativa de temperatura em escala mensal e anual em função das coordenadas geográficas (CARGNELUTTI FILHO; MALUF; MATZENAUER, 2008).

## 2.5 Estudos correlatos

Além de trabalhos diretamente relacionados à produção do capim-sudão, pesquisas correlatas envolvendo outras culturas de plantas foram utilizados para enriquecimento do referencial bibliográfico. A seguir descritos alguns trabalhos que relacionam a agrometeorologia com a produção de diversas culturas, pesquisas sobre métodos de espacialização de dados e também estudos sobre temperatura na Região Sul.

O trabalho de Castro *et al.* (2010) procurou desenvolver modelos matemáticos capazes de estimar as temperaturas do ar mínimas, máximas e médias, tanto mensais como anuais no estado do Espírito Santo, e assim espacializar estas informações com base em um modelo digital de elevação (MDE). Para o desenvolvimento do modelo, foram utilizadas equações de regressão linear múltipla, sendo a temperatura do ar a variável dependente e a altitude, longitude e latitude as variáveis independentes utilizadas para o cálculo da equação. Os dados das médias de temperatura do ar utilizados foram obtidos de 14 estações meteorológicas, pertencentes ao INCAPER e INMET, distribuídas pelo estado do Espírito Santo, e abrangendo um período de 30 anos (1977 a 2006). O modelo digital de elevação foi adquirido através de imagens do radar SRTM, e disponibilizadas pela Embrapa Monitoramento (MIRANDA, 2005), tendo estas uma resolução espacial de 90 metros, sendo que foram necessárias 9 cenas para a montagem de um mosaico, e assim, formar uma única imagem com as informações de altitude e suas respectivas coordenadas geográficas que representaram o estado do Espírito Santo. O software ArcGis/ArcMap foi utilizado para a espacialização dos dados de temperatura média do ar. Notou-se que a altitude foi mais determinante para as variações de temperatura, muito provavelmente pela pouca variação de latitude e longitude dentro do estado. Os autores concluíram que a aplicação destas técnicas permitiram estimar satisfatoriamente os valores de temperatura média do ar no estado do Espírito Santo.

A pesquisa de Pezzopane *et al.* (2012), visou identificar zonas que atendessem os requisitos agroclimáticos para a produção do capim Marandu e Tanzânia, na região Sudeste do Brasil, pois grande parte dos estudos levava em conta os parâmetros climáticos do centro-sul do país. Por isso foi feita a identificação de áreas da região Sudeste semelhantes às da região centro-sul para o desenvolvimento das forrageiras. Os estudos levaram em conta a disponibilidade térmica, onde zoneamentos climáticos são feitos para determinação dos períodos do ano onde a temperatura do ar atinge valores para interrupção do crescimento vegetativo da planta. Neste mesmo trabalho, a disponibilidade hídrica também é avaliada, pois

é fator determinante para o desenvolvimento da produção. Os autores realizaram a sobreposição de mapas que caracterizaram os efeitos térmicos e hídricos limitantes do período de crescimento vegetativo da forrageira e em consequência disso, a disponibilidade de forragem. Na primeira etapa, foram gerados os mosaicos das imagens SRTM, das quais foram geradas imagens “raster” dos estados da região Sudeste. Posteriormente os mapas climáticos foram gerados digitalmente através do software ArcGIS/ArcMap versão 9.3. Com isso foi concluído que para a região Sudeste do Brasil, a produção das duas espécies forrageiras estudadas possuem períodos restritivos de crescimento que variam de 2 a mais de 6 meses. Com isso é possível a identificação e aplicação de técnicas que visam a maximização da produção dentro das condições climáticas existentes.

A investigação de Caramori *et al.* (2008) buscou indicar as áreas de menor risco climático para a produção de pessegueiros e nectarineiras no estado do Paraná. Para isso foram utilizados dados de 32 estações meteorológicas, que buscaram mapear e estimar o total médio de horas frio (hf) abaixo de 7,2 °C no período de maio a setembro, assim como o risco de geadas tardias. As localidades com a quantidade de horas frio adequada e a última geada antes do período de floração foram consideradas aptas. A ocorrência das geadas foi calculada com base na temperatura mínima do ar, inferior a 1 °C no abrigo meteorológico, levando-se em consideração também o fenômeno conhecido como inversão térmica, onde a diferença de temperatura pode atingir de 3 a 8 °C em noites de geada. Para a interpolação dos dados de frequência foram utilizadas as localidades das 32 estações. Foram elaboradas também as equações de regressão, baseadas nas coordenadas UTM e nas altitudes, buscando relacionar os valores com o mapa de relevo do estado. As imagens de altitude foram disponibilizadas pela NASA. Este estudo possibilitou identificar as regiões com maior aptidão para o cultivo destas plantas, permitindo assim que produtores pudessem realizar o investimento na produção com maior segurança.

O trabalho de Sedyama *et al.* (2001), fez o zoneamento agroclimático para determinar a disposição agrícola para a produção do café arábica no estado de Minas Gerais, sendo este território reconhecido nacionalmente como um dos principais produtores deste tipo de café. Para determinação das zonas com melhores probabilidades de boa produção, foram utilizados dados climáticos obtidos de estações do Instituto Nacional de meteorologia (INMET/MAPA) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), localizados no estado de Minas Gerais e regiões limítrofes dos estados vizinhos. Com os dados obtidos, foi elaborada uma base de dados contendo as estações climatológicas, além de suas temperaturas médias mensais e totais

de precipitações médias mensais e dados de precipitação diárias. Em áreas onde não havia estações meteorológicas para recolhimento de dados de temperatura, foram utilizadas equações lineares, utilizando fatores geográficos, para delimitação de áreas homogêneas de temperatura. Após isso foi calculado também o balanço hídrico para as estações climatológicas disponíveis. Com base nestes dados foi estimado o valor da evapotranspiração potencial climático mensal. Após estas etapas de preparação dos dados, foram criados os mapas temáticos, que possibilitou a determinação das regiões aptas e inaptas para a produção do café arábica. Foi possível concluir que 48,7% da área do estado de Minas Gerais é apta para o desenvolvimento do café, sendo que outros 36,2% do território mineiro foi considerado apto caso seja utilizado irrigação e 15,1% da área estadual foi considerada inapta.

Diante da importância comercial da polpa do açaí, que é um produto tipicamente brasileiro, e representa grande importância ambiental, econômica e cultural para o país, e com produção distribuída nas regiões do baixo Amazonas, Maranhão, Tocantins e Amapá, alcançando as Guianas e a Venezuela, Gasparini *et al.* (2015) fizeram o zoneamento agroclimático da cultura do açaí, buscando as áreas onde as condições mostrem-se mais favoráveis ao desenvolvimento e conseqüentemente aumentando os benefícios sociais, econômicos e ambientais. A precipitação e a temperatura são as variáveis meteorológicas de maior importância a serem consideradas nos estudos dos processos produtivos. Para o estudo foi considerado o estado do Espírito Santo, que apresenta clima tropical e temperatura média anual de 23 °C e precipitação média anual superior a 1.400 mm. O relevo é acidentado e apresenta variação espacial da região Serrana, que fica localizado a Oeste até o litoral, localizada na região Leste. A espacialização dos dados foi feita através de informações dispostas em planilhas eletrônicas que foram convertidas em arquivo vetorial do tipo ponto no formato shapefile(\*shp). Estes dados foram obtidos através de estações meteorológicas da Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Instituto Capixaba de Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) no estado do Espírito Santo, como também de estações de estados vizinhos (Rio de Janeiro, Minas Gerais e Bahia), totalizando 110 estações, com 30 anos de dados médios mensais (de 1977 a 2006), de precipitação pluviométrica, temperatura do ar, evapotranspiração real, excedente hídrico e deficiência hídrica. Com estes dados foi montada as equações de regressão linear, que levaram em conta como variáveis independentes a longitude e altitude do terreno, e a variável dependente foi considerada a temperatura média anual. A latitude não foi utilizada devido a colinearidade com a longitude. Foram então determinados os coeficientes da regressão linear

múltipla, e então utilizada álgebra de mapas, obtendo-se assim a imagem matricial da temperatura média para o estado do Espírito Santo. A imagem matricial de elevação foi obtida no site Brasil em Relevo, da Embrapa Monitoramento por Satélite (MIRANDA, 2005). Foram também calculadas a precipitação pluviométrica e déficit hídrico, através interpolação espacial pelo método da krigagem ordinária, com ajuste estatístico do semivariograma exponencial. Após estes cálculos as imagens foram reclassificadas de acordo com as exigências da cultura, sendo assim possível a classificação das zonas como aptas/inaptas para a produção. Os resultados demonstraram que 20,74% da área total do Espírito Santo possui zonas aptas, sendo estas zonas localizadas nas regiões Nordeste, Serrana e Sul, sendo Linhares o município com maior aptidão. Apesar da maior parte do estado tenha algum tipo de restrição que limita o cultivo, algumas técnicas podem minimizar tais restrições. Sendo assim a produção do açaí mostra-se viável para o estado.

Além de trabalhos de trabalhos relacionados a espacialização de dados no contexto de diversas culturas, foram observados estudos referentes as técnicas de espacialização. Pode-se observar no trabalho desenvolvido por Bagio *et al.* (2015), a investigação, através de revisão bibliográfica, das técnicas de interpolação mais utilizadas e eficientes, para a espacialização de dados meteorológicos relacionados a temperatura média do ar e precipitação em períodos diários, mensais e anuais. Para a variável de temperatura foram pesquisadas 33 referências, enquanto para a precipitação foram utilizadas um total de 85 referências. Com isso, foram calculados índices de eficiência para os métodos. Para a espacialização das temperaturas do ar, foram identificados métodos geoestatísticos e métodos não geoestatísticos. O método mais utilizado entre os geoestatísticos foi o *Ordinary Kriging*, utilizado em 10 publicações. Entre os não geoestatísticos, o mais utilizado foi o método *Inverse Distance Weighting* com potencia 2, encontrado em 15 publicações. Também notou-se que apesar da regressão linear não ser considerado um método interpolador, esta técnica foi encontrada em um percentual considerável de publicações. Os autores concluíram que o método da regressão linear foi o mais eficiente, o que pode ser justificado através de revisões bibliográficas, pela existência de alta correlação entre temperatura do ar e altitude, pois em regiões montanhosas, dois pontos próximos podem apresentar temperaturas diferentes devido a diferença de altitude. Considerou-se *kriging* como o segundo método mais eficiente, seguido pelo método *Inverse Distance Weighting*.

O trabalho desenvolvido por You, Hubbard e Goddard (2008) comparou os métodos de *Inverse Distance Weighting* (IDW) e de regressão espacial, que fornecem estimativas de

dados para uma estação de interesse com base nas medições nas estações vizinhas. Este artigo avalia o desempenho de as duas abordagens nos EUA para estimar a temperatura diária máxima e mínima em que as estimativas são em comparação com os dados reais medidos. O desempenho dessas abordagens foi avaliado usando o coeficiente de eficiência, variância explicada, erro quadrático médio da raiz, erros sistemáticos e não sistemáticos. O teste t e o teste de variância também foram usados para comparar o desempenho dos dois métodos. Além disso, duas outras versões do IDW foram testadas. A abordagem de regressão espacial mostrou-se superior a todas as versões do método IDW, especialmente nas regiões costeiras e montanhosas. A abordagem de regressão espacial resolve com sucesso as diferenças sistemáticas causadas pelas diferenças de elevação do terreno, que não é contabilizada pelo método *Inverse Distance Weighting*. Os autores concluíram que quando existe grande número de estações meteorológicas, principalmente em terrenos mais planos, o desempenho de ambas as técnicas é similar. Os dois métodos são diretamente afetados pela densidade de estações na área onde as temperaturas serão espacializadas, por isso, apresentam desempenho relativamente baixo quando a densidade da estação meteorológica é baixa.

Foram revisados também trabalhos relacionados as condições climáticas da Região Sul. Pode-se dar ênfase para o trabalho desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (WREGGE *et al.*, 2012) proporcionou a caracterização climática dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, através de Sistemas de Informação Geográficas, contando com 566 estações pluviométricas georeferenciadas além das 125 estações meteorológicas completas. O resultado do estudo foi a espacialização das médias e normais de variáveis climáticas utilizadas para as práticas agropecuárias. Estes dados estão disponibilizados em banco de dados de diversas entidades. O resultado deste esforço está expresso através de diversos mapas que caracterizam as variações de temperatura, precipitação pluviométrica, classificação climática, além de outras informações. Foi utilizado o software ArcGIS para a espacialização dos dados climáticos. No caso das variáveis de temperatura do ar, foi utilizada a técnica de regressão linear múltipla, levando em conta a altitude, latitude e longitude. Após isso, foi gerada um grade retangular de valores, com o resultado da aplicação dos modelos de regressão, no quadrante referente a Região Sul do Brasil e posteriormente foram recortados os limites estaduais referentes aos estados estudados. E finalmente, dependendo dos valores mínimos e máximos da temperatura, foi feito o fatiamento do plano de informação e associação em classes. As variáveis referentes a



precipitação pluviométrica tiveram metodologia semelhante para a criação de seus modelos, porém utilizaram o método da krigagem ordinária ao invés da regressão linear múltipla.

Ainda referentes a temperatura, encontrou-se estudos mais aprofundados sobre os estados da Região Sul. Segundo estudos de Fritzsons, Wrege e Mantovani (2015), a relação de altitude e temperatura possui grande relevância para regiões de clima tropical e subtropical, pois a diferença de algumas centenas de metros pode causar mudanças significativas no ambiente. A temperatura média do ar sofre alterações devido, geralmente nesta ordem de importância, da altitude, latitude e longitude. Devido ao posicionamento geográfico e relevo, cada região possui um gradiente térmico vertical médio específico. Neste estudo, o Rio Grande do Sul foi segmentado em quatro grupos climáticos homogêneos, pela análise de agrupamento, e foram feitas também análises de correlação entre a temperatura média das estações do ano e média anual, com as respectivas altitudes das estações meteorológicas dos grupos. Utilizou-se 36 estações meteorológicas com dados históricos entre os anos de 1976 e 2005. Os resultados mostram que, considerando todas as estações meteorológicas, nas estações do verão e outono existe uma forte correlação entre temperatura e altitude, enquanto na média anual e primavera há uma correlação moderada. Para o grupo de estações meteorológicas com menores variações na altitude, não houve correlação entre altitude e temperatura devido às altitudes serem menores e associado à interferência de outras condições como latitude, longitude, situação topográfica, incidência ou não da brisa do mar, dentre outros fatores. O gradiente térmico vertical médio para os meses de verão, resultante do conjunto de todas as estações meteorológicas, concluiu que há uma diminuição média de 1 °C a cada 132 metros de elevação na altitude, que é equivalente a 0,75 °C a cada 100 metros de altitude. Este valor foi obtido a partir de uma reta de regressão com um coeficiente de determinação de 0,56%.

Em relação as temperaturas do estado de Santa Catarina, o trabalho de Fritzsons, Mantovani e Wrege (2016) utilizou dados de 44 estações meteorológicas deste estado, que foram submetidos à análise de agrupamento os valores médios das variáveis térmicas referentes a temperatura média, mínima e máxima de janeiro e de julho e média anual, e também a latitude e longitude de cada estação, para formar conjuntos de estações semelhantes. As médias anuais de janeiro e julho foram escolhidas por se referirem, na média, aos meses mais quente e frio do ano, respectivamente. Considerando-se todas as estações meteorológicas, a correlação entre a altitude e a temperatura média do ar de janeiro é muito forte negativa sendo que o mesmo acontece para em julho. Considerando os pontos mais frios,

localizados nas áreas mais altas, a correlação é muito forte em janeiro e moderadamente negativa em julho. Observando-se o conjunto de estações mais quentes do estado, a correlação da altitude é moderadamente negativa para ambos os meses. Isto ocorre, provavelmente, devido aos microclimas locais e pelo fato de que as frentes frias estacionais do inverno podem obstruir as tendências de decréscimo de temperatura relativas a altitude. No mês de janeiro constatou-se que ocorre um decréscimo de aproximadamente  $0,47\text{ }^{\circ}\text{C}$  a cada 100m. Este valor foi obtido a partir de uma reta de regressão com um coeficiente de determinação de 0,85%. A altitude demonstrou ser o fator de maior relevância na variação de temperatura, seguido da latitude e longitude, respectivamente. A temperatura média anual apontou uma diferença de  $1,08\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $1,30\text{ }^{\circ}\text{C}$  para cada grau de latitude e  $0,18\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0,62\text{ }^{\circ}\text{C}$  para cada grau de longitude, aumentando para oeste.

No estado do Paraná encontramos a pesquisa de Fritzsos, Mantovani e Aguiar (2008) que utilizou dados históricos das estações do IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná), do Instituto Tecnológico SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná) e do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) para relacionar a altitude com a temperatura. Foram delimitados grupos climáticos homogêneos e com isso, foram realizadas análises de correlação entre a temperatura média de janeiro, julho e média anual, com as respectivas altitudes das estações pertencentes aos grupos. A correlação da altitude com a temperatura média anual do mês de janeiro foi, de modo geral, mais forte do que para a temperatura média do mês de julho. A média do gradiente térmico para o mês de janeiro obtido para o grupo de todas as estações, excluindo as do litoral, concluiu que ocorre uma diminuição média de  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  a cada 126 metros de ascensão vertical. Este gradiente sofre uma variação entre 124 a 141 m /  $^{\circ}\text{C}$  para o sudoeste e norte, respectivamente. Algumas regiões, como a de Foz do Iguaçu, necessitam de maior estudo, pois sofre constantes chegadas de frentes frias, o que ocasiona quedas bruscas de temperatura. A altitude mostrou exercer maior influência sobre a temperatura, seguido de latitude e longitude, respectivamente. A temperatura média anual variou de  $0,54$  a  $1,17\text{ }^{\circ}\text{C}$  para cada grau de latitude e de  $0,22$  a  $0,72\text{ }^{\circ}\text{C}$  para cada grau de longitude, aumentando para oeste.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo apresentam-se os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente define-se o tipo de pesquisa. Em seguida, apresentam-se as etapas da pesquisa bem como as ferramentas utilizadas.

#### **3.1 Definição do tipo de pesquisa**

A ciência tem como finalidade essencial alcançar a veracidade dos fatos, sendo que neste sentido não se diferencia das demais formas de conhecimento. Porém o que o distingue o conhecimento científico dos demais é a sua verificabilidade. Para determinar um conhecimento como científico é necessário o mapeamento das operações mentais e técnicas que possibilitam sua verificabilidade (GIL, 2008). De acordo com Gil (2008), o método é definido como o caminho para atingir determinado fim, e conseqüentemente, o método científico é o conjunto de procedimentos técnicos e intelectuais empregados para obter o conhecimento.

A linha de pesquisa deste trabalho se enquadra-se como “modelagem computacional do sistema solo-planta-animal”, tópico estabelecido pelo PPGCAP – UNIPAMPA/ EMBRAPA. Este tipo de pesquisa é definida como uma pesquisa aplicada, pois esta tem por objetivo a geração de conhecimento à partir de problemas específicos que poderão ser aplicados praticamente (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Em relação a abordagem, pode ser considerada como uma pesquisa quantitativa, pois considera-se que é possível a determinar valor em termos numéricos, valendo-se de métodos matemáticos para manipulação dos dados de temperatura. E finalmente, esta pesquisa pode ser delimitada como bibliográfica e documental, pois é executada através de estudos de fontes de inúmeras naturezas, tais como livros, revistas e documentos oficiais.

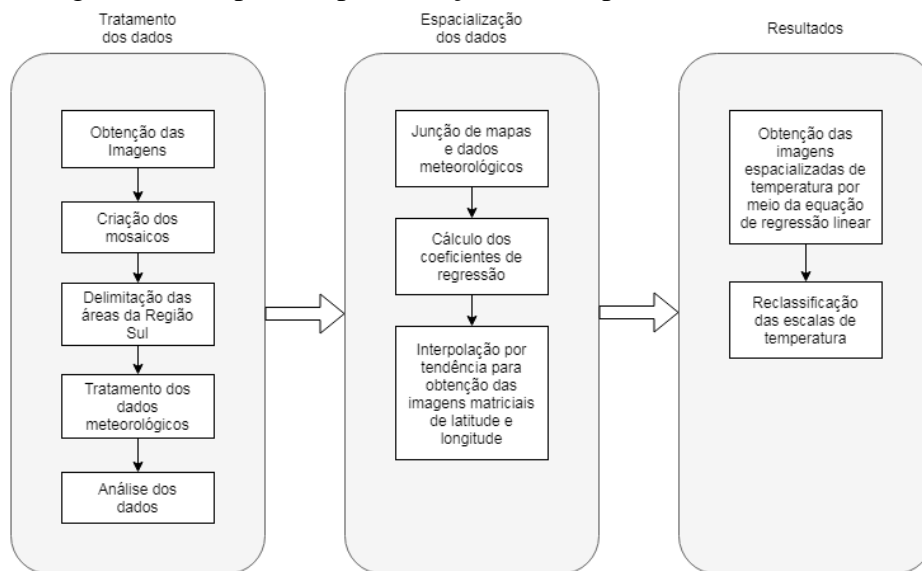
#### **3.2 Etapas do método**

O trabalho proposto inicia com o levantamento bibliográfico, que tem como objetivo embasar o estudo da relação das variáveis de temperatura com a produtividade do capim-sudão BRS Estribo. Em seguida delimita-se as variáveis a serem utilizadas para espacialização dos dados de temperatura, sendo definido que o estudo será realizado na Região Sul do Brasil, que compreende os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e

Paraná. Os dados de temperatura utilizados são referentes à média de temperaturas do ar calculados em um período de 30 anos. Os dados das temperaturas médias do ar foram obtidos junto ao Atlas Climático da Região Sul do Brasil (WREGE *et al.*, 2012). Optou-se pela utilização do software ArcGis, que disponibiliza um conjunto de funcionalidades baseadas em localização para uma diversificada análise e visualização de dados espaciais, possibilitando a criação de mapas. Este software possui uma série de aplicações integradas, entre elas o ArcMap, que é utilizado para criação de mapas e manipulação de dados geoespaciais.

Para este trabalho, foi feito primeiramente a espacialização das temperaturas médias dos estados da Região Sul do Brasil, e posteriormente a espacialização dos dados de soma térmica no contexto da cultura do capim-sudão BRS Estribo. Para isso, houve a necessidade de preparação dos dados, e assim utilizar técnicas matemáticas para estatística espacial de dados meteorológicos, assim como técnicas de *Machine Learning* para classificação e clusterização dos dados, através da ferramenta ArcMap, que encontra-se no software ArcGIS 10.3. As etapas do método para a obtenção dos mapas com espacialização das temperaturas podem ser observadas na Figura 2.

Figura 2 - Diagrama de etapa da espacialização das temperaturas



Fonte: Autor (2020)

### 3.2.1 Preparação da base de dados

O primeiro passo para a espacialização das temperaturas foi a obtenção dos dados altimétricos em formato matricial da Região Sul do Brasil, disponibilizadas pela Embrapa

Monitoramento por Satélite. Estes dados foram gerados a partir de levantamento feito por radares localizados em sensores embarcados no ônibus espacial *Endeavour*, no projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), sendo este uma parceria entre as agências espaciais NASA e NIMA dos Estados Unidos, ASI da Itália e DLR da Alemanha. Os pesquisadores da Embrapa Monitoramento por Satélite fizeram um cuidadoso trabalho com estas imagens, adquirindo-as através do site da NASA e fazendo a correção e padronização, eliminando sombras, distorções e falhas (MIRANDA, 2005). Este material foi gerado com composições coloridas RGB (*Red, Green e Blue*), adaptado em concordância com o padrão de tabela de cores da USGS (*United States Geological Survey*).

Os dados disponibilizados para processamento em softwares de geoprocessamento possuem formato GEOTIFF (16 bits), tendo uma resolução espacial de 90 metros, utilizando como unidade para medição da altitude o metro (m) e o sistema de coordenadas geométricas utilizado é o WGS 84 (*World Geodetic System of 1984*).

Inicialmente realizou-se o download das cenas do satélite SRTM que abrange a Região Sul do Brasil. Após isso, foi necessário a confecção do mosaico, que ao ser criada estava com sua projeção geográfica e elevação referenciada para o geóide WGS 84, sendo necessário a conversão para o datum referenciado SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), sendo este o sistema de referenciamento geodésico adotado para as Américas (FORTES, 2003).

Os mosaicos formam imagens que não representam corretamente as formas e fronteiras dos estados e do país. É necessário realizar um recorte da área de interesse. Os arquivos contendo os formatos dos estados e país (shapefiles) foram obtidos através do site do Núcleo de Economia Regional e Urbana da USP (NEREUS). A partir disso foi possível delimitar as áreas de interesse dentro do mosaico criado.

Os dados meteorológicos (médias das temperaturas mínimas, médias e máximas, de um período de 30 anos) foram obtidos no Atlas Climático da Região Sul do Brasil (WREGE *et al.*, 2012), calculados entre os anos de 1976 e 2005. Estes valores foram obtidos através de 125 estações meteorológicas completas, instaladas nos três estados da Região Sul do Brasil e algumas estações localizadas em São Paulo e no Uruguai. Os dados das estações e de temperatura foram tratados, colocando-os em arquivos, de forma que ficassem dispostos em tabelas contendo o nome das localidades, latitude, longitude, altitude da estação e o cálculo das médias das temperaturas médias de janeiro a dezembro. As principais estatísticas descritivas, representadas pela temperatura mínima, temperatura máxima, mediana, média,

moda e desvio padrão dos 12 meses do ano, referentes as temperaturas médias do ar da Região Sul estão descritas na Tabela 1. Estas medidas proporcionam apenas uma visão geral dos valores de temperatura média, pois não levam em consideração as características geográficas de cada território da Região Sul. As temperaturas mínimas e máximas são os valores extremos que encontram-se na base de dados, assim como a moda, que é o valor que mais se repete dentro deste conjunto de informações. Medidas como média, mediana e desvio padrão são calculadas, e proporcionam uma ideia dos valores médios mensais de temperatura e quanto eles tendem a variar.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das temperaturas médias do ar em graus (°C)

<b>Mês</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mediana</b>	<b>Média</b>	<b>Moda</b>	<b>Desvio padrão</b>
Janeiro	17,20	26,40	23,40	22,94	23,50	2,00
Fevereiro	17,20	25,60	23,00	22,68	24,60	1,91
Março	16,10	25,50	22,00	21,70	23,10	1,98
Abril	13,50	23,50	19,40	19,17	16,90	2,14
Mai	10,80	19,80	15,90	15,93	14,20	2,08
Junho	9,00	18,30	14,10	14,20	12,70	1,98
Julho	8,60	18,30	14,10	13,97	14,20	1,99
Agosto	9,80	20,10	15,30	15,33	16,80	2,04
Setembro	10,80	23,30	16,60	16,65	14,40	2,31
Outubro	13,20	23,20	18,90	18,73	18,60	2,12
Novembro	14,60	24,10	20,60	20,49	21,50	2,05
Dezembro	16,20	25,40	22,40	22,11	20,10	2,04

Fonte: Autor (2020)

Em seguida foram inseridos pontos, referentes a estas estações meteorológicas, para a utilização nos cálculos de estimativa dos coeficientes de regressão que posteriormente serão utilizados na equação que determinará o mapa espacializado com as temperaturas do ar nas regiões observadas.

Os dados altimétricos, representados pelo mapa da Região Sul, assim como as estações meteorológicas utilizadas para a espacialização dos dados, podem ser observados na Figura 3.

Para analisar as regiões onde temperaturas altas ou baixas que agrupam-se, utilizou-se a ferramenta *Hot Spot Analysis*, ou também chamado de localizador de alto valor de incidência. Este método é considerado uma técnica de *Machine Learning* de clusterização

(*clustering*), pois faz o agrupamento de observações com base em similaridades de valores ou locais (BENNETT, 2017).

Para isso, são utilizados cálculos estatísticos, valor-p e teste Z, para informar onde os recursos com valores altos ou baixos estão espacialmente agrupados. Essa ferramenta examina cada recurso no contexto de recursos vizinhos, sendo que um valor alto é interessante, mas pode não ser estatisticamente significativo. Para ser um ponto de acesso estatisticamente significativo, um recurso terá um valor alto e será também cercado por outros recursos com valores altos. A soma local de um recurso e de seus vizinhos é comparada proporcionalmente à soma de todos os recursos, e quando a soma local é muito diferente da soma local esperada e quando essa diferença é muito grande para resultar de uma chance aleatória, resulta em um teste Z estatisticamente significativo (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2019).

### **3.2.2 Machine Learning**

Pode-se definir técnica de *Machine Learning* como um conjunto de algoritmos e técnicas orientados a dados que automatizam a predição, classificação e clusterização de dados. O aprendizado de máquina pode desempenhar um papel crítico na solução de problemas espaciais em um extenso conjunto de áreas de aplicação, desde a classificação de imagens à detecção de padrões espaciais até a previsão multivariada (BENNETT, 2017).

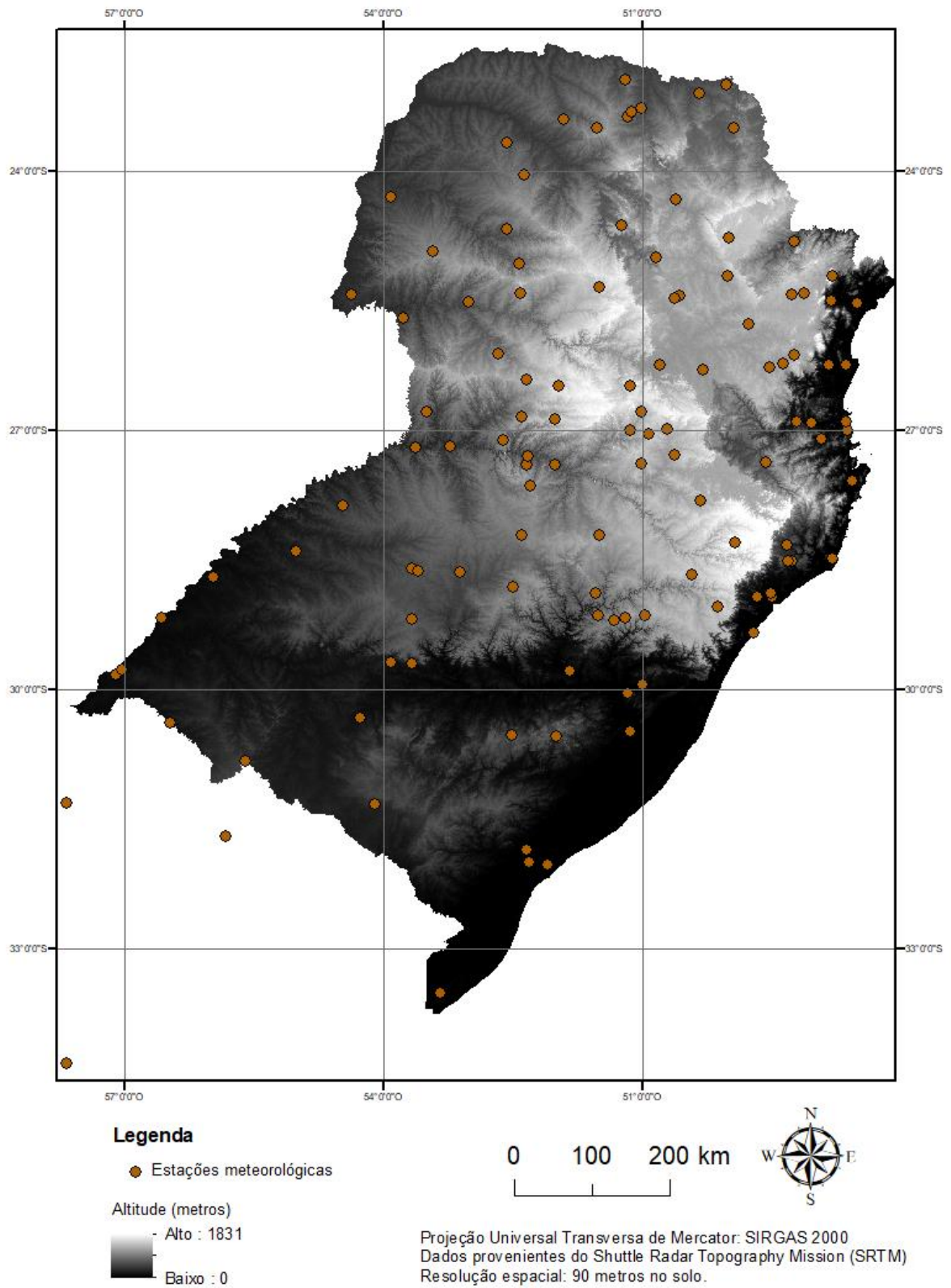
Nas técnicas de predição utiliza-se dados conhecidos, através de funções matemáticas, para estimar e prever valores desconhecidos. O software ArcGis tem nesta categoria, pode-se citar os algoritmos de Krigagem Bayesiana Empírica e o método dos mínimos quadrados ordinários.

As técnicas de classificação tem por objetivo decidir a qual categoria um objeto deve ser atribuído com base em um conjunto de dados de treinamento. Podemos citar os algoritmos de Máquina de Vetor de Suportes e árvores binárias.

As técnicas de clusterização, ou agrupamento, buscam agrupar dados através de similaridades de locais ou valores, utilizando funções matemáticas. O software ArcGis possui técnicas de clusterização como análise de alto valor de incidência, clusterização multivariada e clusterização baseada em densidade.

Figura 3 - Dados Altimétricos da Região Sul e estações meteorológicas

### Dados altimétricos da Região Sul e estações meteorológicas



Fonte: Autor (2020)



A ferramenta ArcGIS também possui um subconjunto de técnicas de *Machine Learning* que são inerentemente espaciais. Esses métodos espaciais que incorporam certa noção de geografia diretamente em seus cálculos podem levar a um maior entendimento do problema. O componente espacial geralmente assume a forma de alguma medida de formato, densidade, contiguidade, distribuição espacial ou proximidade. Estes métodos desempenham função importante na resolução de problemas espaciais (BENNETT, 2017).

### 3.2.3 Regressão linear

A análise de regressão é um método matemático que aborda as relações entre múltiplas variáveis. A técnica de análise de regressão mais simples e mais utilizado é a regressão linear, mostrando-se conveniente para a análise de um modelo com múltiplos atributos (LI *et al.*, 2017). A aplicação deste procedimento permite modelar, examinar e explorar relações espaciais e pode auxiliar a desvendar os fatores por trás dos padrões espaciais observados (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2016). A regressão linear pode ser simples, quando existe relação causal entre duas variáveis, e pode ser classificada também como múltipla, no caso de a variável dependente ser classificada por mais de uma variável independente.

Pode-se utilizar técnicas de regressão linear para diversas finalidades. Pode-se modelar alguns fenômenos para sua melhor compreensão, e usar esse entendimento para tomar decisões ou efetuar políticas sobre ações a serem tomadas. O objetivo básico é medir a extensão em que mudanças em uma ou mais variáveis afetam conjuntamente as mudanças em outra. É possível também, através desta técnica, modelar fenômenos para previsão de valores em outras condições de tempo e lugar, por exemplo. É possível também a utilização da regressão linear para a exploração de hipóteses (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2016). Esta fórmula matemática utiliza as chamadas variáveis explicativas para predição da denominada variável dependente, e pode ser vista na equação 3.1.

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (3.1)$$

Nesta fórmula temos os seguintes elementos:

- Variável dependente (y): valor que deseja-se prever;

- Variável independente/explicativas (X): variável utilizada para modelar e prever o valor dependente;
- Coeficientes de regressão ( $\beta$ ): esta variável representa a força e significância que as variáveis independentes têm em relação a variável dependente. Sendo que  $\beta_0$  é chamado de constante de regressão ou *interception*, e representa o valor esperado para a variável dependente se todas as variáveis independentes forem iguais a zero;
- Resíduos ( $\epsilon$ ): os valores previstos e os valores observados geralmente apresentam divergências inexplicáveis, sendo a diferença entre estes valores chamada de resíduo e representada pelo termo de erro aleatório na equação.

### 3.2.4 Mínimos quadrados ordinários

Para a estimativa dos coeficientes de regressão podemos utilizar o método conhecido como mínimos quadrados ordinários (*ordinary least squares* ou OLS). Esta é uma técnica de otimização matemática que busca a aproximação máxima dos valores preditos com os reais, tentando minimizar a soma dos quadrados das diferenças das ordenadas (resíduos) entre os pontos gerados pela função e os pontos correspondentes nos dados (KALKHAN, 2011).

Este método pode também ser classificado como uma técnica de *Machine Learning* (Aprendizado de Máquina).

O método dos *mínimos quadrados ordinários* pode ser definido mais especificamente como uma técnica de predição, pois visa estimar valores desconhecidos.

A equação OLS estimada pode ser descrita matematicamente de forma similar a uma regressão linear simples (WOOLDRIDGE, 2015), e pode ser visto na equação 3.2.

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 \quad (3.2)$$

Onde:

$\hat{\beta}_0$  é a estimativa de  $\beta_0$

$\hat{\beta}_1$  é a estimativa de  $\beta_1$

$\hat{\beta}_2$  é a estimativa de  $\beta_2$

Para obter  $\hat{\beta}_0$ ,  $\hat{\beta}_1$  e  $\hat{\beta}_2$ , o método de mínimos quadrados ordinários escolhe as estimativas que visam minimizar a soma dos resíduos quadrados. Ou seja, dado  $n$  observações em  $y$ ,  $x_1$  e  $x_2$ ,

$\{(x_{i1}, x_{i2}, y_i): i=1,2,\dots,n\}$ , as estimativas de  $\hat{\beta}_0$ ,  $\hat{\beta}_1$  e  $\hat{\beta}_2$  são escolhidas simultaneamente para fazer a equação 3.3 ser o menor possível.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_{i1} - \hat{\beta}_2 x_{i2})^2 \quad (3.3)$$

### 3.2.5 Espacialização da temperatura média mensal

Para a espacialização dos dados foi utilizado a ferramenta de análise espacial (*Spatial Analyst Tools*) do ArcMap. Este software é um sistema de informação geográfica (*Geographic Information System – GIS*), e permite a criação de mapas, análise de relações espaciais, detecção de padrões e predição de variáveis.

Para a etapa final de criação das imagens contendo a espacialização das temperaturas, montou-se as equações de regressão linear múltipla utilizando os coeficientes de regressão estimados anteriormente. Foram calculadas a constante de regressão ( $\beta_0$ ), e os coeficientes de regressão relativos a latitude ( $\beta_1$ ), longitude ( $\beta_2$ ) e altitude ( $\beta_3$ ), assim como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que é a razão entre a variação explicada e a variação total, ou seja, é interpretado como a fração da variação da amostra em  $y$  (variável dependente) que é explicada por  $x$  (variável independente) (WOOLDRIDGE, 2015). Os coeficientes de regressão e determinação foram calculados através da utilização da técnica de mínimos quadrados ordinários (*ordinary least squares* ou OLS). Este método de otimização matemática é classificado como uma técnica de *Machine Learning* de classificação (BENNETT, 2017).

Para a aplicação deste método foi utilizado a ferramenta de estatísticas espaciais (*Spatial Statistics Tools*) do ArcMAP. Com isso montou-se a seguinte fórmula com base no trabalho de Santos *et al.* (2015) e que pode ser vista na equação 3.4:

$$T = \beta_0 + \beta_1 * \text{Latitude} + \beta_2 * \text{Longitude} + \beta_3 * \text{Altitude} \quad (3.4)$$

As variáveis do modelo são descritos da seguinte forma:

- T: temperatura média do ar em graus Celsius (°C), sendo esta a variável dependente;
- Latitude: em graus (°), variável independente;
- Longitude: em graus (°), variável independente;
- Altitude: em metros (m), variável independente;

- $\beta_0$ : constante de regressão;
- $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$ : coeficientes de regressão.

Os mapas das temperaturas do ar médias mensais foram calculados através da álgebra de mapas, aplicada pelas ferramentas de análise espacial para realização de observações geográficas. A aplicação desta técnica é feita pela ferramenta calculadora de Raster (*Raster Calculator*) do ArcMap. Este dispositivo é projetado para calcular uma expressão algébrica de linha única usando várias ferramentas e operadores que usam uma interface de ferramenta simples semelhante a de uma calculadora. Nessa calculadora foram inseridas as 12 equações de regressão, referentes aos 12 meses do ano. A partir daí foram calculados as temperaturas médias do ar nas regiões delimitadas, gerando as imagens em formato matricial.

Dados do tipo raster (ou matricial) são matrizes, identificadas através de linhas e colunas, em que cada uma destas células contém um único valor armazenado. Na maioria das vezes, os dados rasterizados são imagens, mas além de apenas cores, o valor registrado para cada célula pode ser um valor discreto (como uso da terra), um valor contínuo (como temperatura ou precipitação) ou um valor nulo se não há dados disponíveis. Embora uma célula raster armazene um único valor, ela pode ser estendida usando bandas raster para representar cores RGB (vermelho, verde, azul), mapas coloridos ou uma tabela de atributos estendidos com uma linha para cada valor de célula exclusivo. A resolução do conjunto de dados raster é a largura da célula em unidades terrestres (KALKHAN, 2011).

Após o cálculo dos mapas de temperatura média, as imagens foram reclassificadas, para que todos elas utilizassem a mesma escala de valores para as classes de temperatura, e com isso as comparações acerca das diferenças climáticas pudessem ser realizadas com maior facilidade. Nesta etapa foi utilizada a ferramenta de análise espacial (*Spatial Analyst Tools*) do ArcMap.

### 3.2.6 Cálculo da soma térmica

Sabendo-se da importância da temperatura para o desenvolvimento das plantas, foi feita a espacialização das somas térmicas mensais. A soma térmica é quantidade de graus/dia necessário para o desenvolvimento da planta, e no caso do capim-sudão BRS Estribo, este cálculo foi feito com base em Malcorra *et al.* (2017) e pode ser visto através da equação 3.5.

$$ST = T_{med} - T_b \quad (3.5)$$

Onde:

- ST: Soma térmica, em graus-dia ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ );
- $T_{med}$ : Temperatura média do ar diária, em graus Celsius em graus ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $T_b$ : Temperatura base, em graus Celsius em graus ( $^{\circ}\text{C}$ ), que é o mínimo de temperatura que a planta necessita para seu desenvolvimento, sendo neste caso considerado  $10^{\circ}\text{C}$ .

Foi necessário o cálculo da soma térmica de cada estação, considerando sua temperatura média e multiplicado pela quantidade de dias do mês. Após feito o cálculo da soma térmica mensal, foi utilizada a técnica dos mínimos quadrados ordinários para a determinação dos coeficientes e constante de regressão, e com isso, elaborar as equações lineares necessárias para a utilização da álgebra de mapas através da calculadora de raster. Gerado os mapas, foi feita a reclassificação das escalas de temperatura de cada mês, de forma que a classificação ficasse uniforme e assim, possa facilitar comparações quando dispostos em conjunto.

Como citado em comunicado técnico da Embrapa (SILVEIRA *et al.*, 2015), os período entre os meses de outubro e fevereiro são considerados os melhores para o plantio do capim-sudão BRS Estribo na Região Sul do Brasil, por isso foram calculadas as somas térmicas acumuladas nos períodos entre outubro a abril, novembro a abril, dezembro a abril, janeiro a abril e fevereiro abril. Para obtenção dos coeficientes de regressão, constante de regressão e obtenção dos mapas, utilizaram-se os mesmos procedimentos das espacializações de dados anteriores.

### 3.2.7 Simulação do número de pastejos

Após a espacialização da soma térmica acumulada, foi feita uma nova reclassificação, de forma que estes valores contribuíssem para a previsão do número de pastejos na região. Para isto foi considerado que o pastejo ocorre sob lotação intermitente, onde a área é subdividida, sendo que cada subdivisão tem um período limitado de utilização pelos animais e seguido por um período de recuperação do pasto. Neste caso a entrada dos animais na área de pastejo deve ocorrer quando a planta atinge entre 50 e 60 cm de altura, permanecendo os animais até o rebaixamento do pasto, entre 10 e 15 cm de altura (SILVEIRA *et al.*, 2015).

Foi considerado que da semeadura até a emergência, são necessários  $56 \text{ }^\circ\text{C.dia}^{-1}$ , e posteriormente seria essencial mais  $358 \text{ }^\circ\text{C.dia}^{-1}$  da emergência das sementes até o primeiro pastejo, totalizando  $414 \text{ }^\circ\text{C.dia}^{-1}$ . Para os demais pastejos foi considerado necessário somar-se  $281 \text{ }^\circ\text{C.dia}^{-1}$  (MALCORRA *et al.*, 2017). A Tabela 2 relaciona o número de pastejos com a soma térmica potencial.

Tabela 2 - Relação entre número de pastejos e soma térmica

Número de pastejos	Soma térmica ( $^\circ\text{C.dia}^{-1}$ )
1º pastejo	414
2º pastejo	415 – 695
3º pastejo	696 - 976
4º pastejo	977 – 1257
5º pastejo	1258 - 1538
6º pastejo	1539 – 1819
7º pastejo	1820 - 2100
8º pastejo	2101 – 2381
9º pastejo	2382 - 2662
10º pastejo	2663 – 2943
11º pastejo	2944 – 3224
12º pastejo	3225 – 3505

Fonte: Autor (2020)

### 3.2.8 Avaliação do modelo

Para avaliação do desempenho do modelo é possível utilizar alguma medidas com esta finalidade, que são disponibilizadas pelo relatório gerado pelo software, após a aplicação do método dos mínimos quadrados ordinários.

Primeiramente são verificados os valores do coeficiente de determinação, também conhecido como  $R^2$  e o coeficiente de determinação ajustado ou  $R^2$  ajustado. Os valores possíveis variam de 0,0 a 1,0. O valor do  $R^2$  ajustado é sempre um pouco menor que o valor do  $R^2$ , porque reflete a complexidade do modelo, ou seja, o número de variáveis, e consequentemente no que se refere aos dados, é uma medida mais precisa do desempenho do modelo. A adição de uma variável explicativa adicional ao modelo provavelmente aumentará o valor de  $R^2$ , mas poderá diminuir o valor de  $R^2$  ajustado (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2018). Supondo, por exemplo, que um modelo de regressão linear

para variação de temperatura apresente um valor de 0,49 para o  $R^2$  ajustado, isto significa que o modelo explica 49% na variação do resultado, ou seja, na variável dependente. Pode-se dizer que o modelo conta 49% da história da variação de temperatura.

O relatório apresenta também o Coeficiente de Probabilidade ou Probabilidade Robusta e Fator de Inflação de Variância (*Variance Inflation Factor* - VIF), para avaliação de cada variável do modelo. O coeficiente para cada variável explicativa reflete a força e o tipo de relacionamento que a variável explicativa possui com a variável dependente. Quando o sinal associado ao coeficiente é negativo, o relacionamento é negativo (por exemplo, quanto maior a altitude, menor a temperatura do ar). Quando o sinal é positivo, o relacionamento é positivo. Os coeficientes são dados nas mesmas unidades que suas variáveis explicativas associadas (um coeficiente de 0,005 associado a uma variável que representa a temperatura pode ser interpretado como 0,005 °C). O coeficiente reflete a mudança esperada na variável dependente para cada mudança de 1 unidade na variável explicativa associada, mantendo todas as outras variáveis constantes. O teste T é usado para avaliar se uma variável explicativa é ou não estatisticamente significativa. A hipótese nula é que o coeficiente é, para todos os efeitos, igual a zero (e consequentemente não está ajudando o modelo). Quando a probabilidade ou probabilidade robusta (p-value) é muito pequena, a chance do coeficiente ser essencialmente zero também é pequena. Se o teste de Koenker for estatisticamente significativo, usa-se a variável de probabilidades robustas para avaliar a significância estatística da variável explicativa. As probabilidades estatisticamente significativas têm um asterisco (\*) ao lado delas, nos relatórios gerados. Uma variável explicativa associada a um coeficiente estatisticamente significativo é importante para o modelo de regressão se a teoria/senso comum suportar uma relação válida com a variável dependente, se a relação que está sendo modelada for principalmente linear e se a variável não for redundante a outras variáveis explicativas no modelo. O VIF mede a redundância entre variáveis explicativas. Como regra geral, variáveis explicativas associadas a valores de VIF maiores que 7,5 devem ser removidas, uma a uma, do modelo de regressão (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2018).

A significância do modelo é verificada tanto pela Estatística Conjunta F quanto a Estatística Conjunta Wald que são medidas da significância estatística do modelo geral. A estatística F conjunta é confiável somente quando a estatística Koenker (BP) não é estatisticamente significativa. Se a estatística Koenker (BP) for significativa, você deve consultar a estatística Joint Wald para determinar a significância geral do modelo. A hipótese

nula para ambos os testes é que as variáveis explicativas no modelo não são eficazes. Para um nível de confiança de 95%, uma probabilidade, ou p-value, menor que 0,05 indica um modelo estatisticamente significativo (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2018).

Também é necessária a avaliação de estacionariedade, ou seja, quando o modelo é consistente no espaço geográfico, sendo os processos espaciais representados pelas variáveis explicativas se comportam da mesma maneira em toda a área de estudo. Esta avaliação se dá através da estatística Koenker (BP), que é um teste para determinar se as variáveis explicativas no modelo têm um relacionamento consistente com a variável dependente no espaço geográfico e no espaço de dados. Para um nível de confiança de 95%, um p-value (probabilidade) menor que 0,05 indica heterocedasticidade estatisticamente significativa e/ou não estacionariedade (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2018).



## 4 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados da análise dos dados, da espacialização de dados de temperatura média mensal do ar na Região Sul do Brasil, espacialização dos resultados da soma térmica acumulada mensal, da soma térmica acumulada nos principais períodos de produção do capim-sudão BRS Estribo, assim como a apresentação dos mapas com a simulação do número de pastejos possíveis de acordo com o acúmulo de soma térmica em períodos distintos.

### 4.1 Análise dos dados

Foi possível observar nos dados de temperatura das estações meteorológicas, que a temperatura média do ar anual da Região Sul é de 18,58 °C, sendo que o estado de Santa Catarina apresenta a menor média, 17,95 °C, seguido do estado do Rio Grande do Sul, com média de temperatura do ar de 18,24 °C, e o estado do Paraná com média de 19,65 °C.

Com a chegada do outono no hemisfério sul, que ocorre entre os dias 21 e 22 do mês de março, o recebimento de radiação solar passa a ficar mais curto, sendo em média 12 horas por dia (KEISLING, 1982). Com isso a temperatura médias do ar fica abaixo de 23 °C, sendo que as temperaturas médias dos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná neste mês são respectivamente 20,98 °C, 21,72 °C e 22,32 °C. No mês de maio a temperatura média do ar diminui mais ficando abaixo dos 20 °C.

O mês de junho é marcado pela chegada do inverno, com isso o período de luminosidade diminui para 10 horas em média na região sul, e uma média de 10,9 horas no extremo norte do Paraná. As temperaturas médias do ar ficam abaixo de 15 °C. O mês de julho apresenta as menores médias de temperaturas, sendo que a estação meteorológica de São Joaquim, localizada a 1415 metros de altitude, apresentou uma média de 9,5 °C e a estação meteorológica localizada em Capão do Leão, ao sul do país e próxima a Lagoa dos Patos, apresentou uma temperatura média de 8,6 °C.

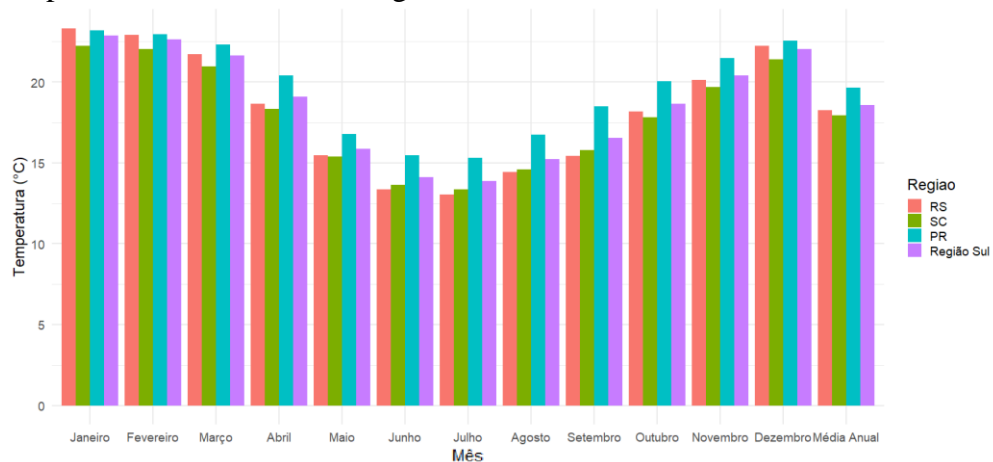
A partir do mês de agosto começa o aumento do dia solar, e com isso é possível observar o aumento da temperatura, principalmente em regiões mais continentais e próximas ao rio Uruguai. Porém algumas regiões ainda mantêm médias abaixo de 10 °C, como a região de Pelotas.

Com a chegada do mês de outubro e o estabelecimento da primavera, toda região atinge médias de temperatura do ar acima de 11 °C, sendo que regiões no extremo norte do Paraná alcançam médias superiores a 25 °C. As médias de temperatura seguem em elevação durante o mês de novembro, sendo que nesta época o comprimento do dia solar tem aproximadamente 13 horas de duração.

Em dezembro a temperatura média do ar segue elevando, sendo que a média da região alcança 22,03 °C, sendo o Paraná a região de maior valor, alcançando 22,55, seguido do Rio Grande do Sul com 22,24 °C e Santa Catarina com 21,39 °C. A estação de Cambará do Sul registrou a menor média neste mês, atingindo 16,20 °C.

Pode-se observar a comparação mensal das médias de temperaturas na Região Sul, assim como em seus estados, no gráfico comparativo que está disposto na Figura 4.

Figura 4 - Temperatura média do ar na Região Sul



Fonte: Autor (2020)

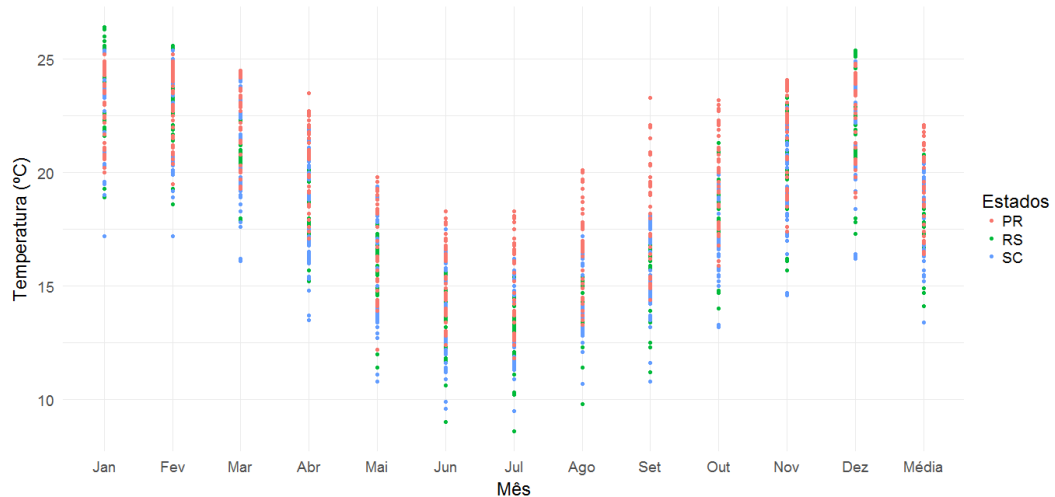
Pode-se ter uma ideia geral da distribuição das temperaturas por mês e média anual através da Figura 5. Nesta imagem podemos ver os pontos, que representam as cidades, distribuídos mês a mês, de acordo com suas médias de temperatura, sendo que as cores dos pontos representam os estados as quais as cidades pertencem.

#### 4.1.1 Análise de Hot Spot

Foi utilizada ferramenta *Hot Spot Analysis*, que é uma técnica de que é uma técnica de *Machine Learning* de clusterização (*clustering*), que faz o agrupamento de observações com base em similaridades de valores ou locais, visando procurar grupamentos de altos e baixos

valores de temperatura, e também apontar possíveis locais com valores incomuns em relação ao seus vizinhos.

Figura 5 - Temperatura média das cidades da Região Sul



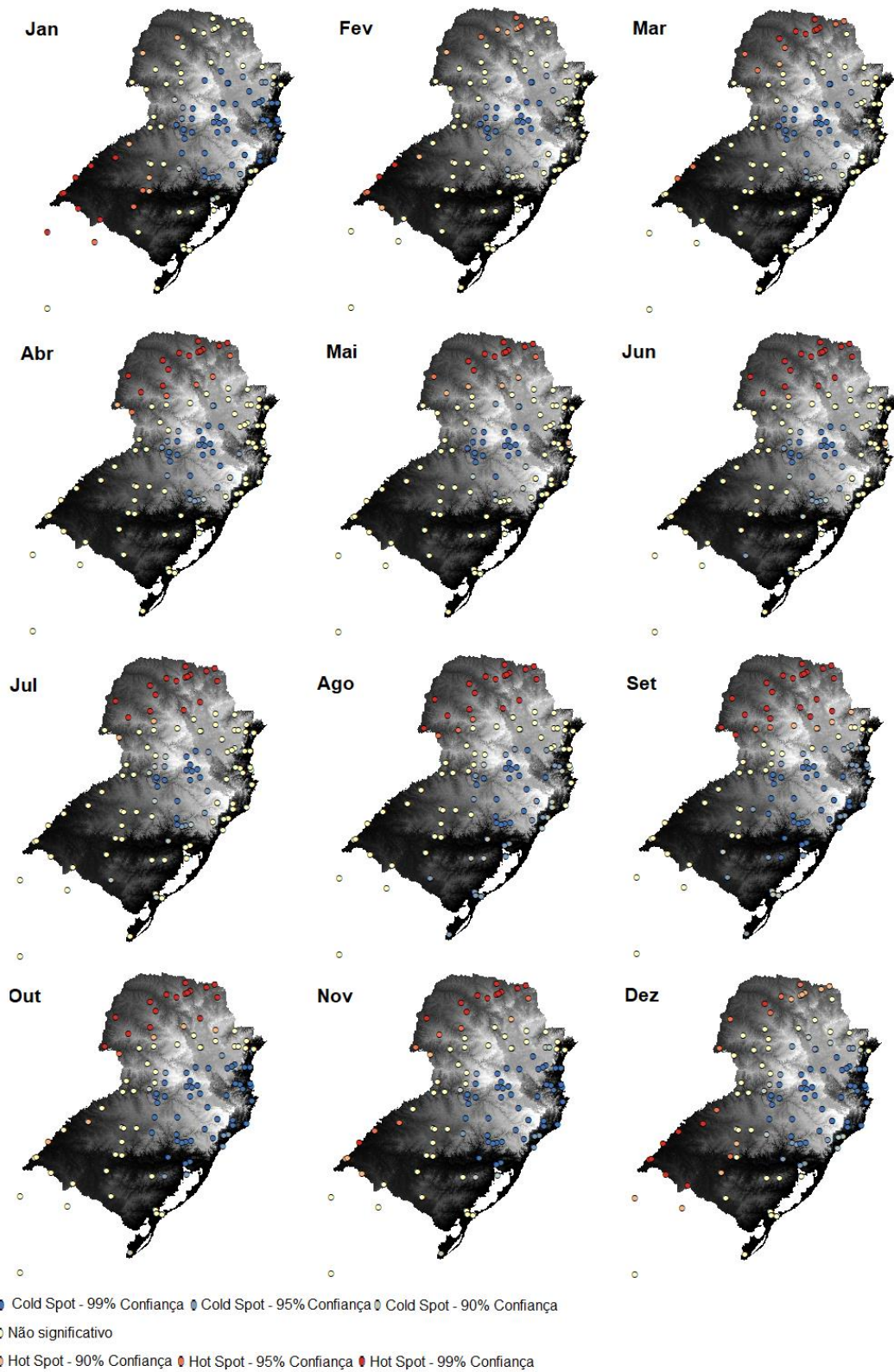
Fonte: Autor (2020)

Utilizando os princípios da localização de valor alto de incidência, foi feita a análise das feições do ponto, para os valores mensais das estações meteorológicas. Neste ensaio é possível observar como estão distribuídas as maiores, menores e temperaturas consideradas médias, nas estações meteorológicas. É possível observar os resultados da aplicação desta ferramenta na Figura 6.

Nota-se nas figuras que as temperaturas mais baixas, representada por pontos da cor azul, concentram-se nas observações feitas na divisa dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, não importando a época do ano. Isto pode ocorrer devido a altitude mais elevada desta região.

As maiores medições, entretanto, alternam de localização, percebendo-se que na época mais quente do ano, as maiores temperaturas encontram-se na região noroeste do Rio Grande do Sul, sendo que nas imagens dos mapas relativos aos meses de dezembro e janeiro, nota-se claramente os pontos mais quentes representados pela cor vermelha. Porém, a partir do mês de março as observações das localidades mais quentes começam a alternar para o norte do estado do Paraná, sendo que de junho a novembro estas observações encontram-se exclusivamente nesta área.

Figura 6 - Análise dos pontos de maior incidência mês a mês



Fonte: Autor (2020)

## 4.2 Influência da altitude, longitude e latitude na temperatura do ar

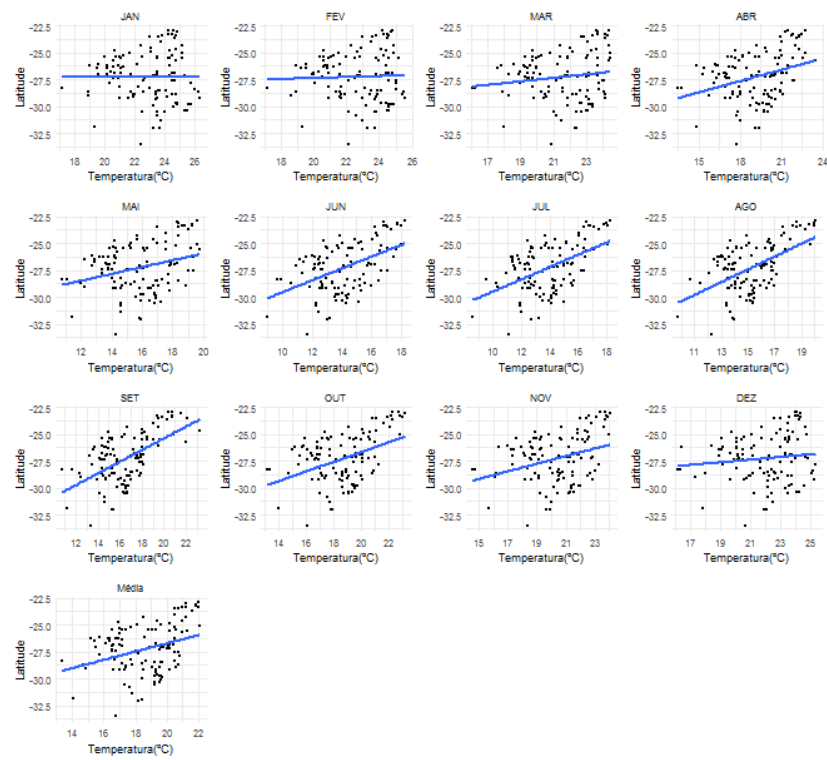
Deve-se considerar que, em termos globais, a altitude, latitude e longitude influenciam na temperatura do ar, apesar de não serem considerados diretamente como parâmetros climáticos. Em termos microclimáticos, áreas alagadas, proximidade do mar, exposição de encostas ao vento e ao sol, por exemplo, podem influenciar na temperatura (FRITZSONS; WREGE; MANTOVANI, 2015). Trabalhos de Fritzsons, Mantovani e Wrege (2016), referentes ao estado de Santa Catarina, de Fritzsons, Wrege e Mantovani (2015) em relação ao estado do Rio Grande do Sul e de Fritzsons, Mantovani e Aguiar (2008) associado ao estado do Paraná, procuram explicar como estes fatores geográficos influenciam no clima destas regiões. De maneira geral, a altitude apresenta maior influência na variação climática, seguida respectivamente, da latitude e longitude. Observou-se que dentro dos próprios estados, a influência destes elementos geográficos varia em diferentes regiões.

Para uma análise geral foram feitos gráficos de dispersão das temperaturas ao longo do ano, assim como uma reta que indica a tendência do comportamento da temperatura média do ar, com o objetivo de facilitar a visualização do relacionamento dos dados. Esta reta foi calculada utilizando o método de regressão linear simples. Podemos verificar que as temperaturas tendem a serem maiores em latitudes maiores (Figura 7), assim como tendem a serem menores em altitudes maiores (Figura 8) e variam de acordo com a longitude (Figura 9). Para a criação destes gráficos, foi utilizada linguagem estatística R.

Percebe-se que as variações de temperatura não são uniformes, variando de acordo com as estações do ano, sendo que em estações mais frias, como o inverno, os elementos geográficos influenciam menos as mudanças da temperatura. Observa-se, que nos meses de maio, junho, julho e agosto, é necessário uma maior elevação da altitude para que a temperatura decresça, ao contrário de meses como janeiro e fevereiro. O mesmo ocorre em relação a longitude, onde nos meses mais frios é necessário uma maior variação em graus, para que ocorra mudanças na temperatura média do ar. Em relação a latitude, nota-se a relação contrária, onde é necessária uma maior variação em graus nas épocas mais quentes, como os meses de janeiro e fevereiro, para que ocorra mudanças na temperatura média do ar.

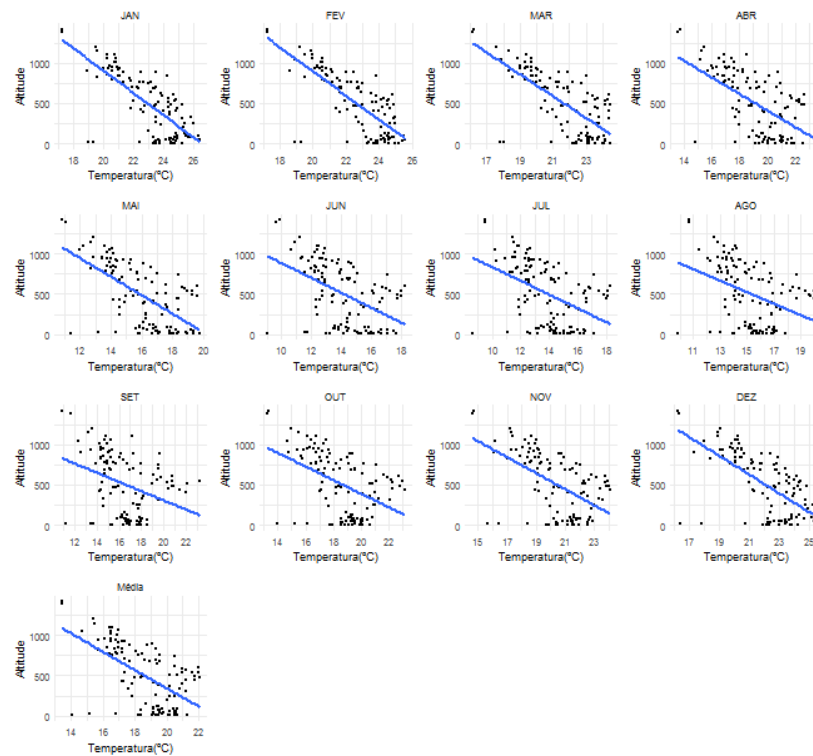
Ressalta-se que estas são observações isoladas dos dados, e apresentam apenas tendências, sendo que para uma análise mais profunda da temperatura média do ar, deve-se considerar diversos outros fatores.

Figura 7 - Gráfico de dispersão da temperatura do ar em relação à latitude



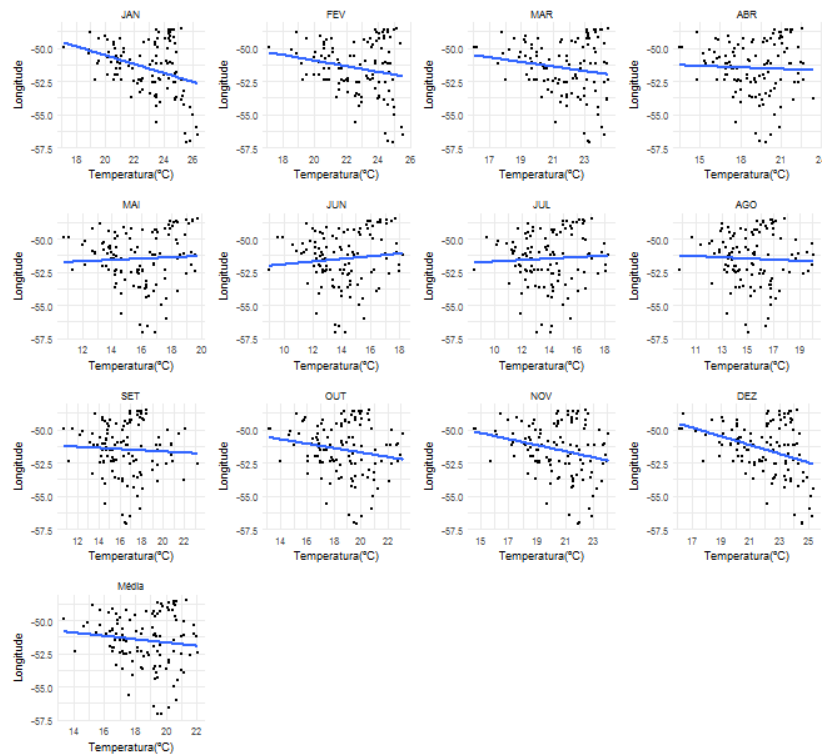
Fonte: Autor (2020)

Figura 8 - Gráfico da dispersão da temperatura em relação à altitude



Fonte: Autor (2020)

Figura 9 - Gráfico de dispersão da temperatura do ar em relação à longitude



Fonte: Autor (2020)

### 4.3 Resultado da espacialização das temperatura

Para obtenção das imagens espacializadas da temperatura do ar, foi necessária a construção das equações de regressão linear, que utilizaram os coeficientes de regressão assim como a constante de regressão obtida através da técnica de múltiplos quadrados ordinários. As expressões de regressão linear submetidas a ferramenta *Raster Calculator* estão dispostas na Tabela 3.

É possível observar na Figura 10 a espacialização dos dados de temperatura média do ar na Região Sul.

Tabela 3 - Equações de regressão linear para temperaturas médias mensais

(continua)

Mês	Equação de regressão linear
Janeiro	$16.295256 + 0.413311 * \text{LAT} - 0.39124 * \text{LON} - 0,004585 * \text{ALT}$
Fevereiro	$23.401642 + 0.402837 * \text{LAT} - 0.24246 * \text{LON} - 0.004586 * \text{ALT}$
Março	$25.084998 + 0.502951 * \text{LAT} - 0.244113 * \text{LON} - 0.004621 * \text{ALT}$
Abril	$30.473686 + 0.6709 * \text{LAT} - 0.178256 * \text{LON} - 0.004558 * \text{ALT}$

Tabela 3 - Equações de regressão linear para temperaturas médias mensais

(conclusão)

Mês	Equação de regressão linear
Maio	$31.886521 + 0.598829 * \text{LAT} - 0.050776 * \text{LON} - 0.004676 * \text{ALT}$
Junho	$32.110451 + 0.702294 * \text{LAT} - 0.06036 * \text{LON} - 0.003922 * \text{ALT}$
Julho	$30.549664 + 0.754474 * \text{LAT} - 0.112958 * \text{LON} - 0.003882 * \text{ALT}$
Agosto	$27.181403 + 0.81797 * \text{LAT} - 0.236193 * \text{LON} - 0.003654 * \text{ALT}$
Setembro	$28.529804 + 0.927973 * \text{LAT} - 0.296126 * \text{LON} - 0.003931 * \text{ALT}$
Outubro	$23.31542 + 0.797599 * \text{LAT} - 0.371379 * \text{LON} - 0.004132 * \text{ALT}$
Novembro	$21.088691 + 0.698362 * \text{LAT} - 0.397237 * \text{LON} - 0.004236 * \text{ALT}$
Dezembro	$16.061035 + 0.521729 * \text{LAT} - 0.433915 * \text{LON} - 0.004328 * \text{ALT}$

Fonte: Autor (2020)

#### 4.3.1 Avaliação dos resultados do modelo

Ao executarmos o método de mínimos quadrados ordinários, o software gera um relatório, como uma de suas saídas, com a finalidade de avaliações e interpretações dos resultados do modelo. Neste caso podemos destacar o  $R^2$  e  $R^2$  ajustado, que são medidas de desempenho do modelo, que variam de entre 0 e 1, e explicam a variação da variável dependente do modelo. No mês de janeiro, por exemplo, o  $R^2$  ajustado obtido foi de 0,7655, o que significa que o modelo explica 76,55% dos resultados da variável dependente, no caso, a temperatura. Na Tabela 4 é possível observar os valores de  $R^2$  e  $R^2$  ajustado.

Tabela 4 - Resultados do modelo referentes a  $R^2$  e  $R^2$  Ajustado (continua)

Mês	$R^2$	$R^2$ Ajustado
Janeiro	0,7713	0,7655
Fevereiro	0,7568	0,7506
Março	0,7449	0,7384
Abril	0,7075	0,7000
Maio	0,7159	0,7086
Junho	0,7380	0,7313
Julho	0,7524	0,7461
Agosto	0,7509	0,7445



Tabela 4 - Resultados do modelo referentes a  $R^2$  e  $R^2$  Ajustado (conclusão)

<b>Mês</b>	<b><math>R^2</math></b>	<b><math>R^2</math> Ajustado</b>
Setembro	0,7417	0,7351
Outubro	0,7680	0,7621
Novembro	0,7564	0,7502
Dezembro	0,7134	0,7060

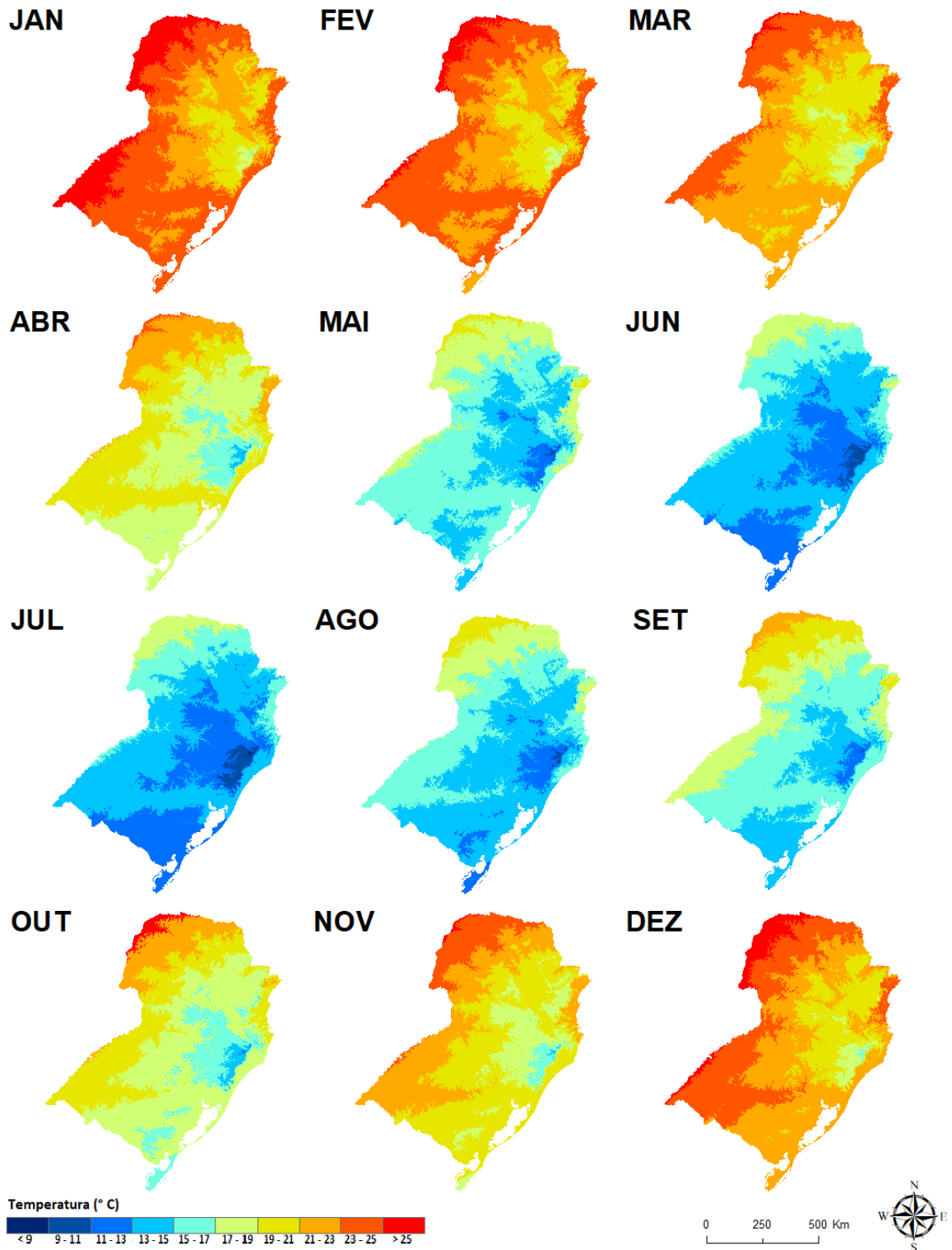
Fonte: Autor (2020)

Percebe-se observando a tabela, que este modelo de regressão de temperatura média do ar, que o  $R^2$  médio dos 12 meses fica em torno de 0,74 e o  $R^2$  ajustado médio fica em torno 0,73. Como o  $R^2$  ajustado representa uma medida mais precisa do modelo, pois retrata melhor a complexidade do modelo em referência aos dados, pode-se dizer que o modelo explica em torno de 73% os resultados de temperatura média do ar.

Outro dado relevante obtido no relatório é o valor do coeficiente, que relaciona cada variável explanatório com a variável independente. Utilizando novamente o mês de janeiro como exemplo, o coeficiente relacionado a altitude possui valor -0,004585, que mostra que a cada metro acrescentado na altitude, a temperatura decresce -0,004585 °C. O sinal negativo desta variável significa que a decréscimo da temperatura, sendo que o sinal positivo demonstra efeito contrário, indicando acréscimo de temperatura. Na Tabela 5 pode-se observar os coeficientes relacionados a altitude, longitude e latitude, para as temperaturas médias do ar da Região Sul.

Percebe-se que quando ocorre elevação da altitude, a temperatura sofre decréscimo, assim como quando se aumenta um grau em relação a longitude. No caso da latitude, ao acrescentarmos um grau em sua posição, a temperatura tende a elevar-se. Para melhor compreensão da variação de temperatura, foi calculado também quantos metros são necessários para que haja variação de 1 °C na temperatura, assim como quantos graus são necessários na variação de longitude e latitude para que haja a mesma variação. Estes dados podem ser observados na Tabela 6.

Figura 10 - Temperatura média do ar na Região Sul



Fonte: Autor (2020)

Tabela 5 - Resultados do modelo referentes aos coeficientes de altitude, longitude e latitude

<b>Mês</b>	<b>Coef. Alt</b>	<b>Coef. Long.</b>	<b>Coef. Lat</b>
Janeiro	-0,004585	-0,3912	0,1433
Fevereiro	-0,004586	-0,2424	0,4028
Março	-0,004621	-0,2441	0,5029
Abril	-0,004558	-0,1782	0,6709
Mai	-0,004676	-0,0507	0,5988
Junho	-0,003922	-0,0603	0,7022
Julho	-0,003882	-0,1129	0,7544
Agosto	-0,003654	-0,2366	0,8179
Setembro	-0,003931	-0,2961	0,9279
Outubro	-0,004132	-0,3713	0,7975
Novembro	-0,004236	-0,3972	0,6983
Dezembro	-0,004328	-0,4339	0,5217

Fonte: Autor (2020)

Tabela 6 - Variação necessária de altitude, longitude e latitude para a variação de 1 °C

<b>Mês</b>	<b>Altitude (metros)</b>	<b>Longitude (graus)</b>	<b>Latitude (graus)</b>
Janeiro	218,10	2,55	2,41
Fevereiro	218,05	4,12	2,48
Março	216,40	4,09	1,98
Abril	218,34	5,61	1,49
Mai	213,85	19,72	1,67
Junho	254,97	16,58	1,42
Julho	257,59	8,85	1,32
Agosto	273,67	4,22	1,22
Setembro	254,38	3,37	1,07
Outubro	242,01	2,69	1,25
Novembro	236,07	2,51	1,43
Dezembro	231,05	2,30	1,91

Fonte: Autor (2020)

Foram verificados os valores do teste T para as variáveis explicativas do modelo, e percebeu-se que os valores foram todos diferentes de zero, o que consequentemente demonstra que os fatores utilizados possuem relevância, sendo que os resultados deste teste estão dispostos na Tabela 7.

O relatório também aponta que não há redundância das variáveis explicativas do modelo, sendo isto feito através do cálculo de VIF, onde constatou-se que todos os fatores considerados possuem valores inferiores a 7,5. Os valores calculados para cada variável foram iguais em todos os meses, sendo que obteve-se o valor de 1,1802 para a variável de altitude, 1,1984 para a variável referente a longitude e 1,3816 para o fator relacionado a latitude.

Tabela 7 - Resultado do teste T para as variáveis de altitude, longitude e latitude

<b>Mês</b>	<b>Altitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>
Janeiro	-17,9336	-0,0451	0,0446
Fevereiro	-18,3113	-5,4925	9,2238
Março	-17,5024	-5,2452	10,9232
Abril	-14,9568	-3,3185	12,6244
Maiο	-15,8616	-0,9771	11,6480
Junho	-14,5346	-1,2696	14,9311
Julho	-14,5346	-2,3992	16,1976
Agosto	-13,3576	-4,8980	17,1452
Setembro	-12,5650	-5,3694	17,0075
Outubro	-15,2169	-7,7582	16,8414
Novembro	-15,6887	-8,3469	14,8323
Dezembro	-14,7851	-8,4087	10,2192

Fonte: Autor (2020)

Observou-se a estatística Koenker, que neste modelo mostrou-se não significativa, por isso escolheu-se a Estatística F-conjunta (e não a Estatística de Wald Conjunta) para a avaliação da significância do modelo. Como o modelo apresentou valores menores que 0,05 neste quesito, concluiu-se que o modelo possui um nível de confiança de 95%.

#### **4.4 Resultado da espacialização da soma térmica mensal**

Após a análise dos dados tratados e espacializados das temperaturas médias do ar, partiu-se para a próxima etapa, consistindo na análise dos dados da soma térmica potencial de cada mês. Estes valores foram obtidos através do cálculo da soma térmica de cada estação multiplicado pelo número de dias do mês. Com estes dados dispostos em tabelas, novamente foi feita a espacialização destes valores.

Foi possível observar que os meses de janeiro e fevereiro apresentaram o maior acúmulo de soma térmica potencial. No mês de janeiro o maior potencial de soma térmica acumulado foi calculado na estação de Itaqui com um total de 508 °C.dia<sup>-1</sup> acumulado, seguida das cidades de São Borja com 505 °C.dia<sup>-1</sup> e São Luiz Gonzaga com 496 °C.dia<sup>-1</sup>, todas estas localizadas no estado do Rio Grande do Sul. Os menores valores calculados neste mês foram atribuídos às localidades de São Joaquim no estado de Santa Catarina, com um total de 223 °C.dia<sup>-1</sup>, Bom Jesus e Cambará do Sul, ambos com 276 °C.dia<sup>-1</sup> e localizadas no estado do Rio Grande do Sul. Em fevereiro o potencial de soma térmica, apesar de valores um pouco menores, segue elevado, sendo que a localidade de Itaqui possui o maior valor com aproximadamente 437 °C.dia<sup>-1</sup>. O menor valor encontra-se em São Joaquim, com uma estimativa de 202 °C.dia<sup>-1</sup> acumulados neste mês. A média nos meses de janeiro e fevereiro na Região Sul é de 399 °C.dia<sup>-1</sup> e 353 °C.dia<sup>-1</sup> respectivamente.

O mês de março apresenta uma ligeira elevação das médias em comparação com o mês de fevereiro, possuindo 361 °C.dia<sup>-1</sup> de média acumulada e valor máximo calculado de potencial de soma térmica acumulada de 449 °C.dia<sup>-1</sup>, na região de Paranaguá no estado do Paraná.

Os meses de novembro e dezembro também possuem soma térmica potencial média mensal acima de 300 °C.dia<sup>-1</sup>. Nestes meses a região de Bandeirantes, localizado no estado do Paraná, obtém os maiores valores de soma térmica potencial acumulada, sendo 423 °C.dia<sup>-1</sup> e 477 °C.dia<sup>-1</sup> nos meses de novembro e dezembro respectivamente.

Os meses de abril e outubro assemelham-se nos valores calculados da soma térmica potencial, possuindo respectivamente médias de 273 °C.dia<sup>-1</sup> e 268 °C.dia<sup>-1</sup>. Os valores máximos calculados em abril são de 405 °C.dia<sup>-1</sup>, na região de Planalto, e 381 °C.dia<sup>-1</sup> nas cidades de Bela Vista do Paraíso e Paranavaí, todas no estado do Paraná. E os potenciais mínimos de soma térmica estão nas 2 estações de São Joaquim, com 189 °C.dia<sup>-1</sup> e 192 °C.dia<sup>-1</sup>, e na estação de Pelotas, com 248 °C.dia<sup>-1</sup>. Em outubro as maiores valores encontram-se no Paraná, nas cidades de Bandeirantes, Maringá e Paranavaí, com os valores de 409 °C.dia<sup>-1</sup>, 403 °C.dia<sup>-1</sup> e 397 °C.dia<sup>-1</sup> respectivamente. Os menores valores encontram-se nas mesmas estações apontadas no mês de abril, com os valores de 99 °C.dia<sup>-1</sup>, 102 °C.dia<sup>-1</sup> e 124 °C.dia<sup>-1</sup>.

O período dentre maio e setembro, principalmente nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, possui valores considerados muito baixos de soma térmica para o desenvolvimento do capim-sudão. O mês de julho apresenta a menor média de potencial de

soma térmica acumulado, com apenas 121 °C.dia<sup>-1</sup>. Algumas regiões como São Joaquim, nos meses de junho e julho, e Pelotas nos meses de junho, julho e agosto, possuem soma térmica potencial nula, ou seja, o cálculo da soma térmica acumulada é 0 °C.dia<sup>-1</sup>. Neste período, deve-se considerar a ocorrência de geadas, que é um fator limitante para o crescimento da planta, principalmente nos seu estágio inicial de desenvolvimento. Os fatores geográficos como maior latitude e altitude influenciam na ocorrência de geadas. No Rio Grande do Sul observa-se ocorrência de geadas entre o mês de abril e início de outubro, enquanto no estado de Santa Catarina as ocorrências deste fenômeno acontecem entre maio e setembro (AGUIAR; MENDONÇA, 2004).

Os melhores períodos para a semeadura, segundo comunicado técnico da EMBRAPA (SILVEIRA *et al.*, 2015), são compreendidos entre outubro e fevereiro, sendo que algumas regiões de Santa Catarina, como oeste e litoral, e Paraná, com exceção de localidades com altitude superior a 600 metros, o plantio pode ser feito no final de setembro.

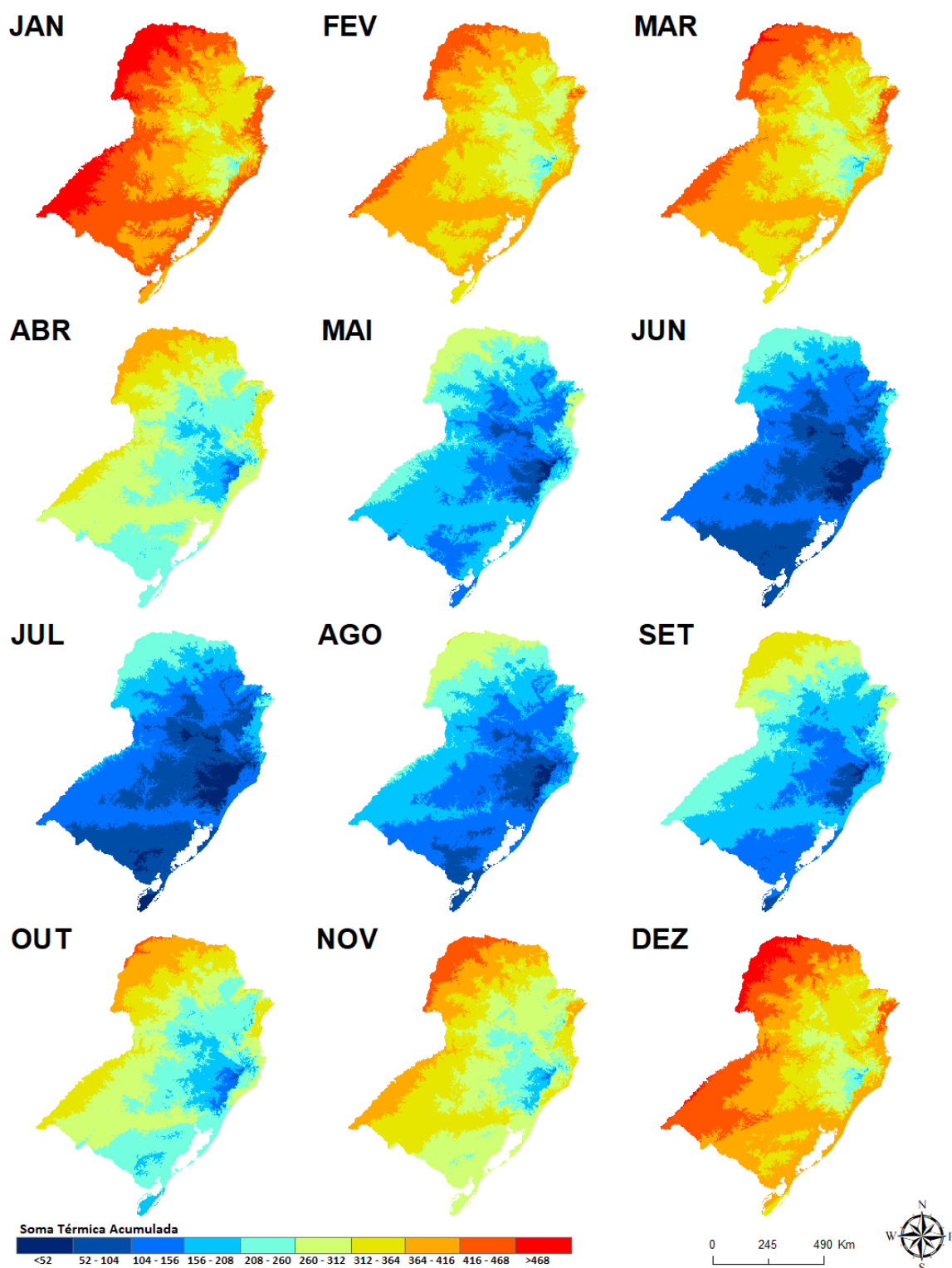
Para a espacialização dos dados referentes a soma térmica mensal, montou-se as equações de regressão linear, que podem ser observadas na Tabela 8. É possível verificar os resultados da espacialização do cálculo da soma térmica potencial acumulada de cada mês na Figura 11.

Tabela 8 - Equações de regressão linear para a soma térmica mensal

Mês	Equação de regressão linear
Janeiro	$195.15293 + 12.812648 * \text{LAT} - 12.128452 * \text{LON} - 0.142147 * \text{ALT}$
Fevereiro	$375.24597 + 11.279423 * \text{LAT} - 6.78888 * \text{LON} - 0.128397 * \text{ALT}$
Março	$467.634952 + 15.59149 * \text{LAT} - 7.56751 * \text{LON} - 0.14325 * \text{ALT}$
Abril	$614.210589 + 20.127011 * \text{LAT} - 5.34769 * \text{LON} - 0.13673 * \text{ALT}$
Mai	$678.482145 + 18.563687 * \text{LAT} - 1.574061 * \text{LON} - 0.144951 * \text{ALT}$
Junho	$661.702773 + 20.760974 * \text{LAT} - 1.680414 * \text{LON} - 0.117066 * \text{ALT}$
Julho	$634.782784 + 22.875328 * \text{LAT} - 3.271086 * \text{LON} - 0.118865 * \text{ALT}$
Agosto	$532.253804 + 25.315748 * \text{LAT} - 7.309025 * \text{LON} - 0.11336 * \text{ALT}$
Setembro	$555.894122 + 27.839186 * \text{LAT} - 8,883793 * \text{LON} - 0.117934 * \text{ALT}$
Outubro	$412.778012 + 24,725575 * \text{LAT} - 11,512756 * \text{LON} - 0.128101 * \text{ALT}$
Novembro	$332.660741 + 20.950858 * \text{LAT} - 11.917099 * \text{LON} - 0.127069 * \text{ALT}$
Dezembro	$187.89209 + 16.173598 * \text{LAT} - 13.451363 * \text{LON} - 0.134175 * \text{ALT}$

Fonte: Autor (2020)

Figura 11 - Potencial de soma térmica mensal



Fonte: Autor (2020)

#### 4.5 Resultado da espacialização da soma térmica acumulada

Após a obtenção dos resultados das espacializações e observações dos valores de temperatura média do ar e soma térmica acumulada dos meses, calculou-se as somas térmicas acumuladas nos períodos de cultivos, sugerido pelo comunicado técnico (SILVEIRA *et al.*, 2015). O período recomendado para o cultivo do capim-sudão BRS Estribo ocorre entre os meses de outubro e fevereiro, sendo que o crescimento para utilização no pastejo irá até o mês de abril, por isso calculou-se as somas térmicas potenciais acumuladas entre os meses de outubro e abril, novembro e abril, dezembro e abril, janeiro e abril assim como fevereiro e abril. Nestes meses a temperatura do solo é suficiente para a germinação das sementes.

Foi possível observar através dos cálculos, que a região de maior soma térmica potencial, compreendido entre outubro e abril, é a região de Paranavaí, num total de 2994 °C.dia<sup>-1</sup>, e o menor potencial foi registrado em São Joaquim, num total 1151 °C.dia<sup>-1</sup>. As equações de regressão linear utilizadas para o cálculo destes períodos acumulados podem ser observadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Equações de regressão linear para a soma térmica acumulada por período

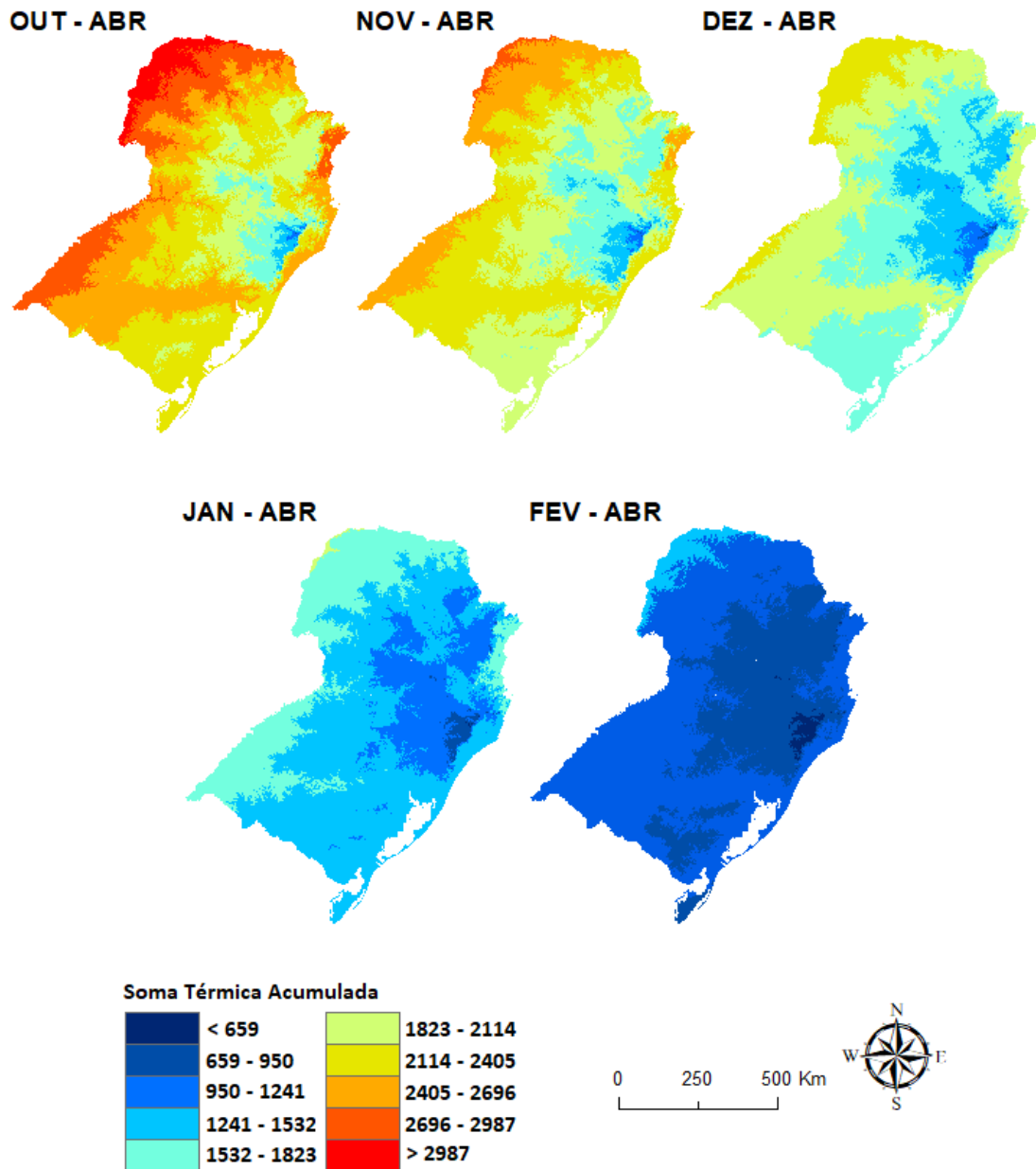
Mês	Equação de regressão linear
Out - Abr	$2585.575283 + 121.660603 * \text{LAT} - 68.713751 * \text{LON} - 0.939871 * \text{ALT}$
Nov - Abr	$2172.797271 + 96.935027 * \text{LAT} - 57.200994 * \text{LON} - 0.811769 * \text{ALT}$
Dez - Abr	$1840.13653 + 75.984169 * \text{LAT} - 45.283896 * \text{LON} - 0.6847 * \text{ALT}$
Jan - Abr	$1652.24444 + 59.810571 * \text{LAT} - 31.832533 * \text{LON} - 0.550525 * \text{ALT}$
Fev - Abr	$1457.09151 + 46.997923 * \text{LAT} - 19.70408 * \text{LON} - 0.408378 * \text{ALT}$

Fonte: Autor (2020)

Com a espacialização destes dados através das equações de regressão linear é possível perceber quais regiões possuem maior e menor potencial de soma térmica acumulada. A Figura 12 apresenta estes resultados.



Figura 12 - Comparação da soma térmica em diferentes períodos



Fonte: Autor (2020)

#### 4.6 Mapa dos números de pastejos

Com o cálculo da soma térmica acumulada nos períodos de semeadura, foi possível simular as áreas que teriam um maior potencial de produção do capim-sudão BRS Estribo.

Quando o cultivo é iniciado em outubro, é possível que o primeiro pastejo ocorra após 44 dias em algumas regiões. Outras regiões terão seu primeiro pastejo no meio ou final do

mês de novembro. Após 6 meses de crescimento algumas regiões terão apenas 3 pastejos, e regiões ao norte do Paraná poderão chegar até 12 pastejos. As simulações do número de pastejos da Região Sul com semeadura em outubro podem ser observadas na Figura 13.

Nos casos das semeaduras que forem feitas nos meses seguintes e, conseqüentemente apresentarão soma térmica potencial gradualmente menor, observa-se que no mês de novembro, ocorrerá uma variação entre 3 e 10 pastejos, como pode-se observar na Figura 14. Semeaduras no mês de dezembro terão entre 3 e 9 pastejos, como observado na Figura 15. No caso da semeadura ocorrer no mês de janeiro, o número de pastejos deverá variar entre 2 e 7, como observados na Figura 16. No mês de fevereiro a variação do número de pastejos será entre 1 e 5, como observa-se na Figura 17.

Foi calculado o percentual de área da Região Sul baseado no número de pastejos. Estes percentuais foram dispostos na Tabela 10 de acordo com o período de semeadura. Estes percentuais são apresentados na Figura 18. Não são considerados neste cálculo áreas urbanas, rios e outros terrenos impróprios para agricultura.

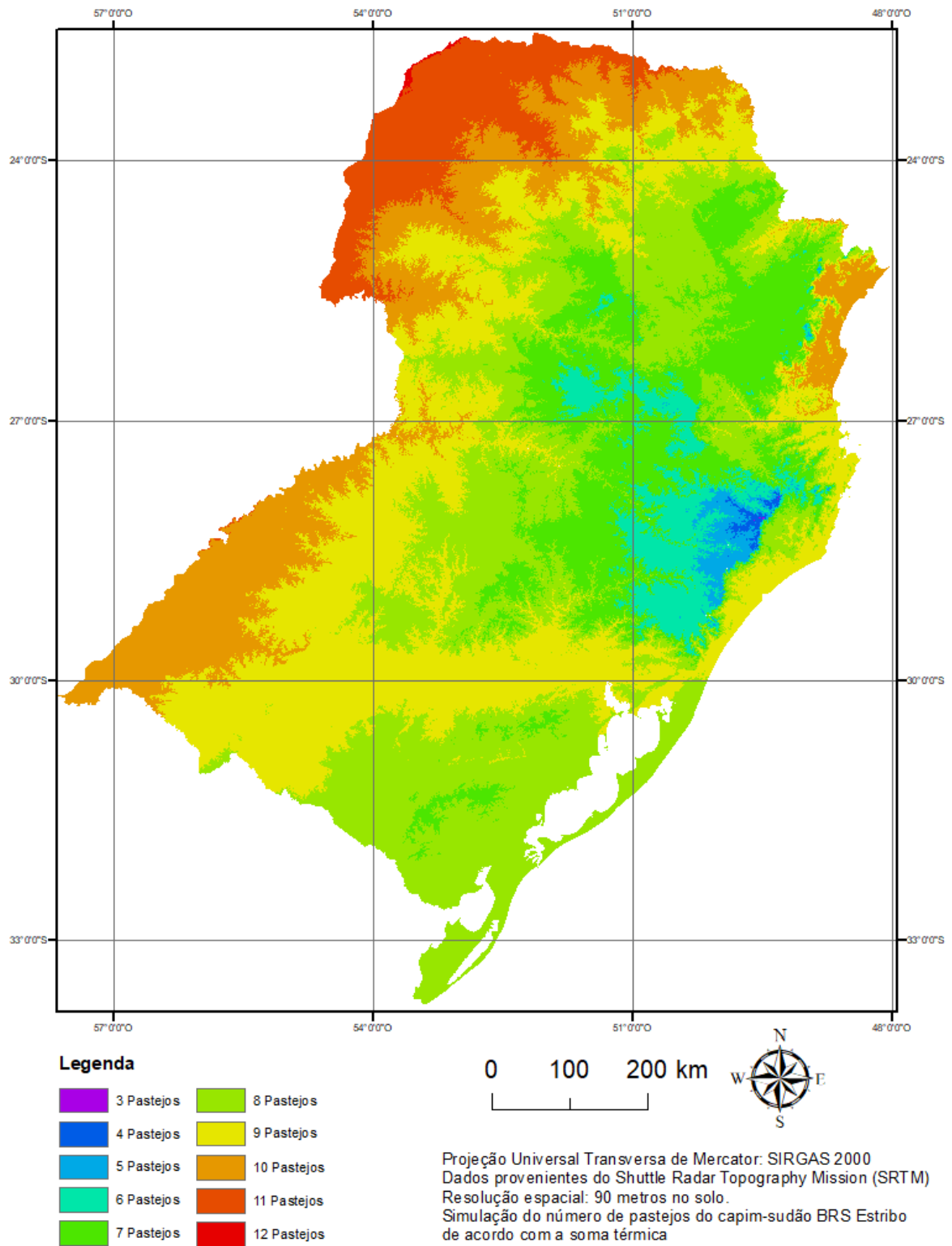
Tabela 10 - Percentual de área (%) relacionado ao número de pastejos

<b>Pastejo</b>	<b>Out-abr(%)</b>	<b>Nov-abr(%)</b>	<b>Dez-Abr(%)</b>	<b>Jan-abr(%)</b>	<b>Fev-abr(%)</b>
1 pastejo	0	0	0	0	0,01
2 pastejos	0	0	0	0,36	13,70
3 pastejos	0,15	0,13	0,70	13,34	27,83
4 pastejos	0,81	2,91	8,43	16,50	39,65
5 pastejos	4,47	18,40	6,68	46,02	18,80
6 pastejos	21,66	8,80	18,17	20,69	0
7 pastejos	6,67	21,21	17,57	3,07	0
8 pastejos	14,67	22,38	48,45	0	0
9 pastejos	12,77	10,66	3,1.10 <sup>-5</sup>	0	0
10 pastejos	6,86	15,50	0	0	0
11 pastejos	31,71	0	0	0	0
12 pastejos	0,36	0	0	0	0

Fonte: Autor (2020)

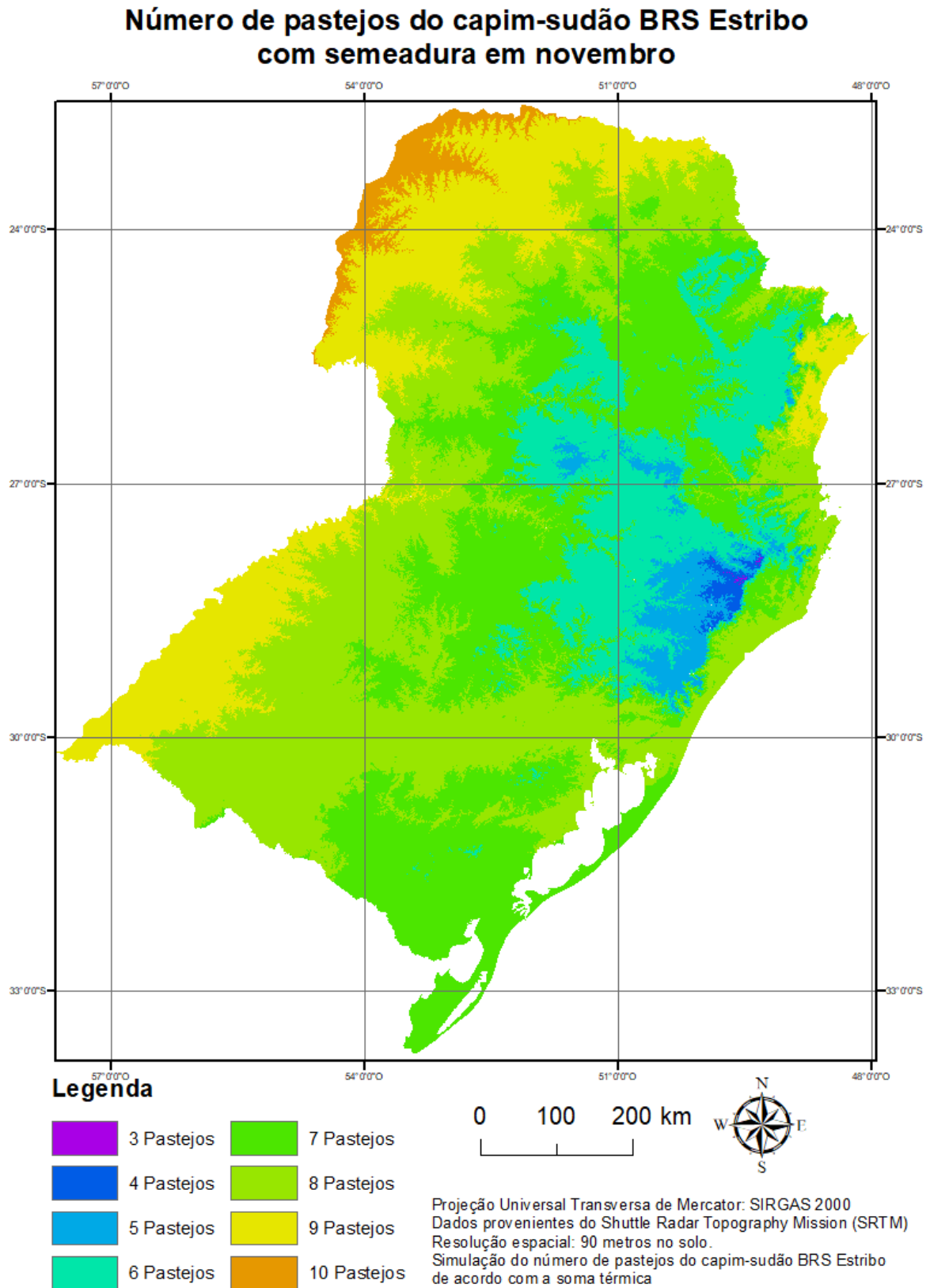
Figura 13 - Número de pastejos do capim-sudão BRS Estribo semeado em outubro

### Número de pastejos do capim-sudão BRS Estribo com semeadura em Outubro



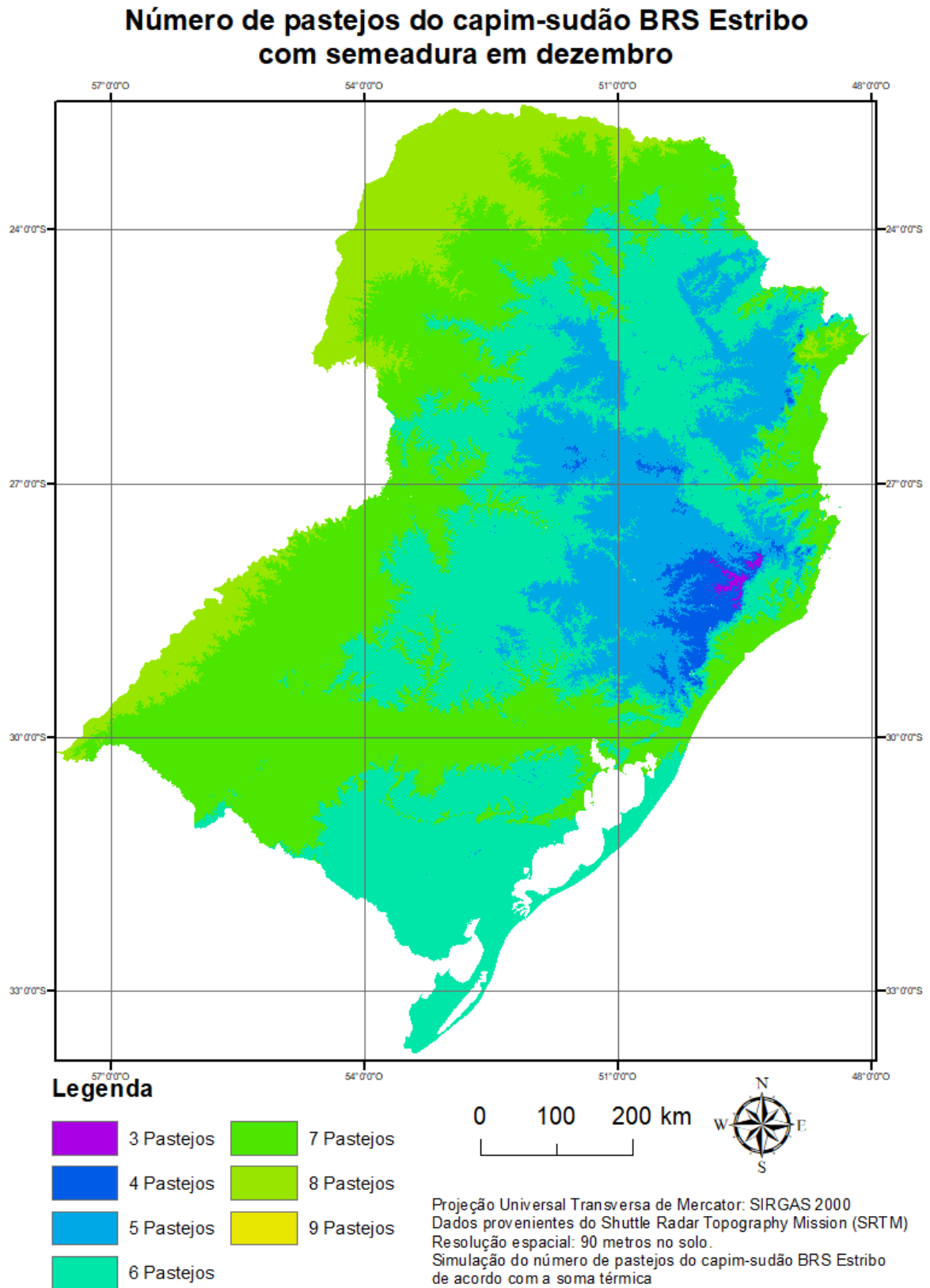
Fonte: Autor (2020)

Figura 14 - Número de pastejos do capim-sudão BRS Estribo semeado em novembro



Fonte: Autor (2020)

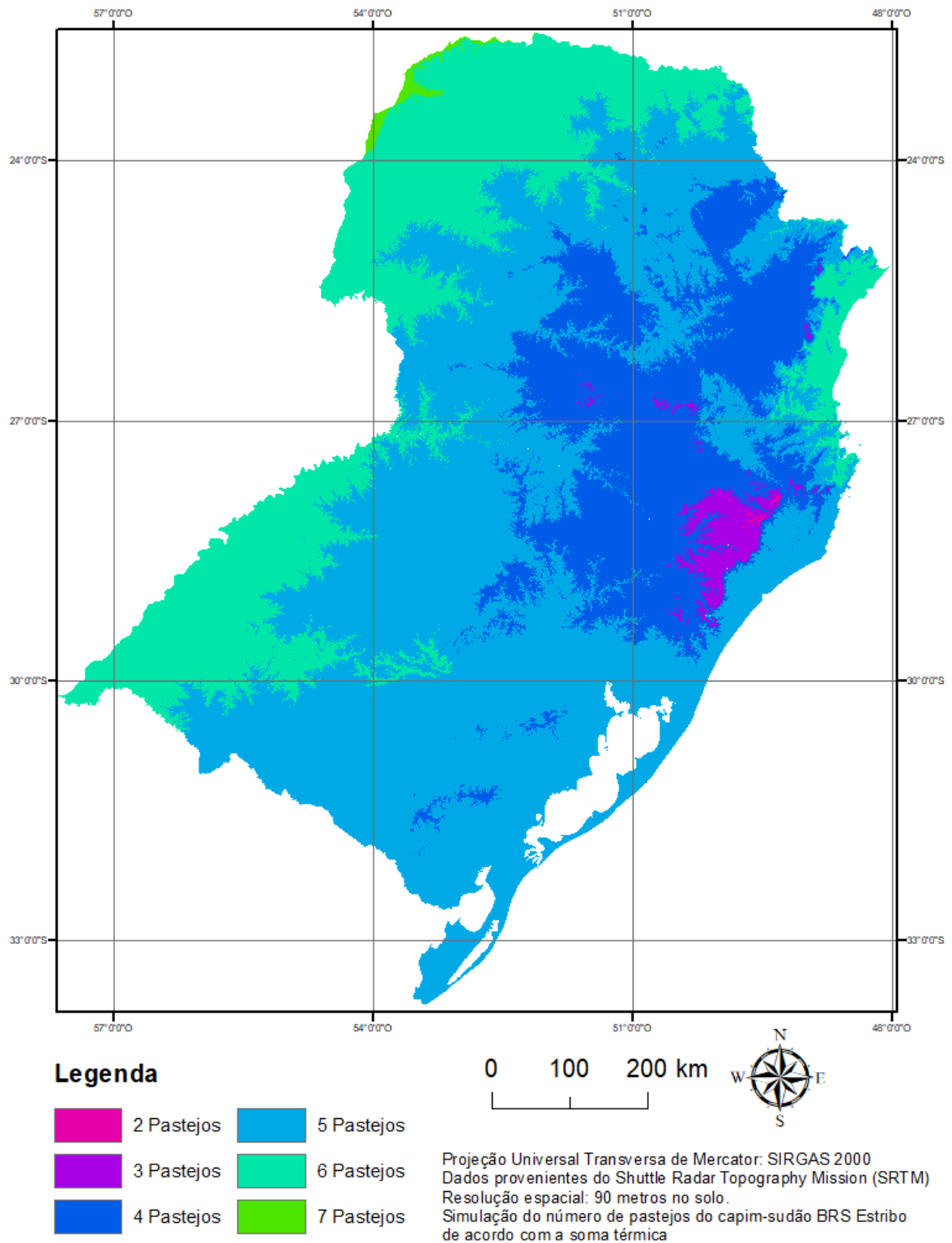
Figura 15 - Número de pastejos do capim-sudão BRS Estribo semeado em dezembro



Fonte: Autor (2020)

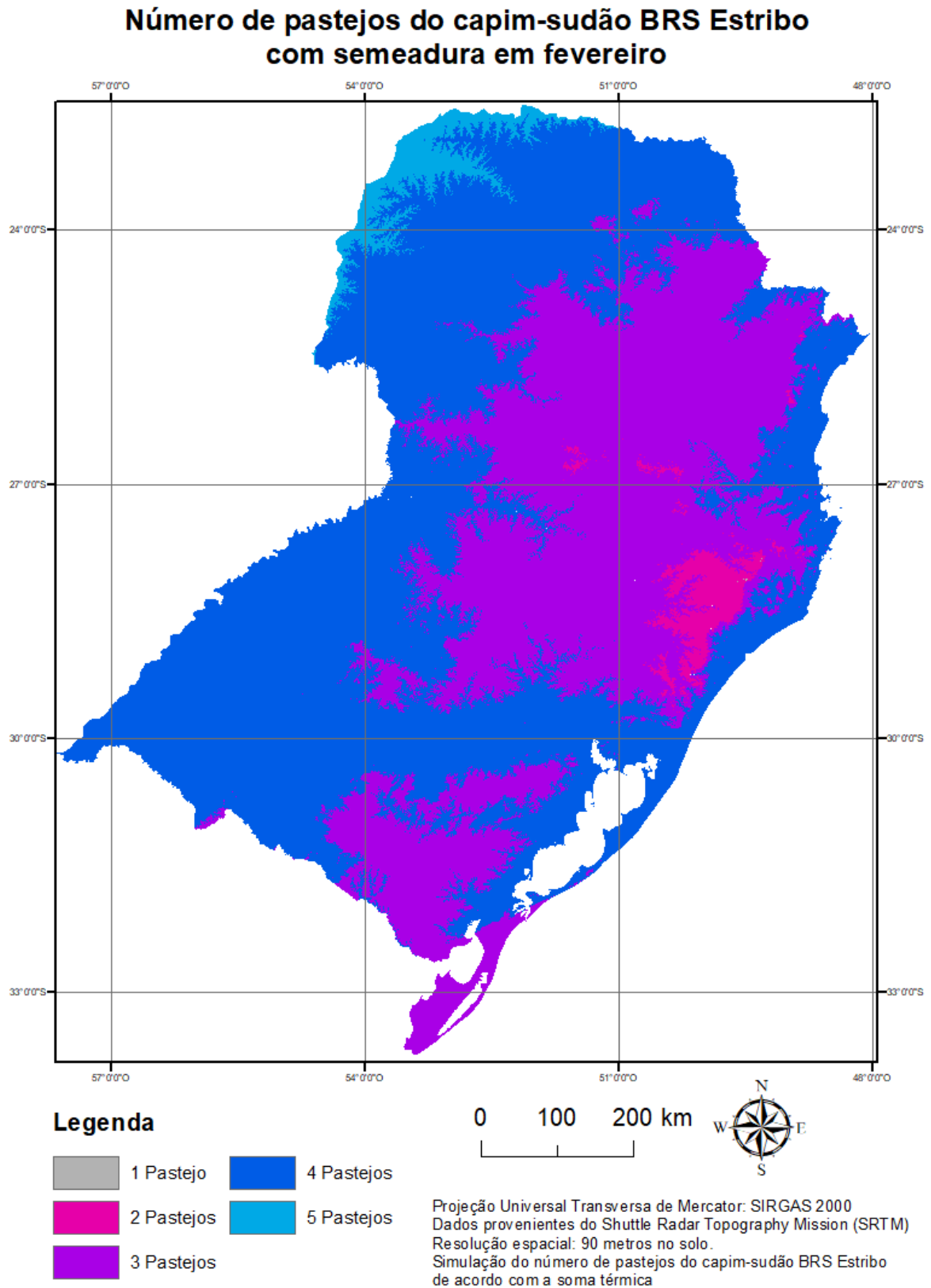
Figura 16 - Número de pastejos do capim-sudão BRS Estribo semeado em janeiro

### Número de pastejos do capim-sudão BRS Estribo com semeadura em janeiro



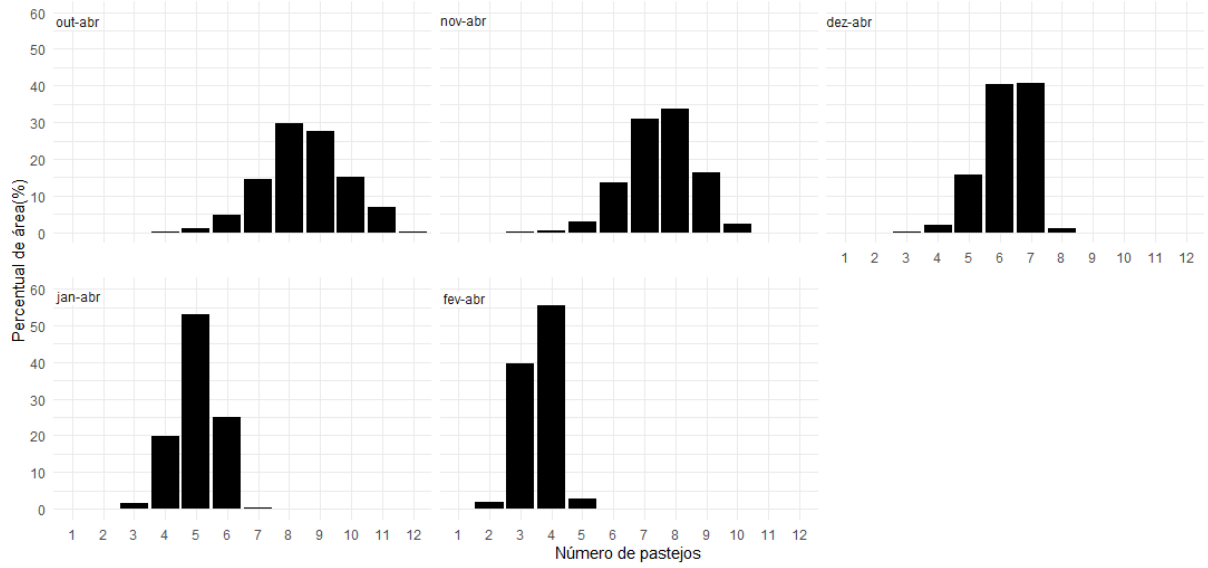
Fonte: Autor (2020)

Figura 17 - Número de pastejos do capim-sudão BRS Estribo semeado em fevereiro



Autor: (2020)

Figura 18 - Percentual de área em relação ao número de pastejos  
Número de pastejos/percentual de área da Região Sul



Fonte: Autor (2020)



## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo estimar o potencial de produção do capim-sudão BRS Estribo na Região Sul, através da espacialização de dados meteorológicos de temperatura e soma térmica. A aplicação da metodologia utilizada neste estudo resultou em mapas de temperatura, soma térmica e simulações do número de pastejos na Região Sul, além de gráficos e tabelas feitos através da análise dos dados históricos de temperatura.

Os dados históricos foram organizados em tabelas e analisados. Utilizou-se técnicas de *Machine Learning* de clusterização, com a finalidade de observar o agrupamento dos valores da temperatura média do ar, e até mesmo detectar possíveis anomalias nos registros. Calculou-se as temperaturas média do ar mensal para cada estado, e também a média da Região Sul. Com os dados históricos também foram feitos gráficos de dispersão com a finalidade de observar a influência de fatores geográficos na temperatura média do ar, onde não foi possível determinar definitivamente o quanto estes elementos influenciam, apenas mostraram tendências, que no caso a relação altitude e temperatura, foi a que melhor pode-se observar.

Observa-se que as regiões ao norte do Paraná e nordeste do Rio Grande do Sul, na divisa com a Argentina, apresentam maior potencial de soma térmica, enquanto regiões mais ao sul do Rio Grande do Sul e na divisa entre este estado e Santa Catarina, de maior altitude e historicamente mais frias, o potencial para cultivo da planta é menor. Percebeu-se também que através dos modelos que a altitude apresentou influência um pouco maior que os outros fatores geográficos utilizados, neste caso a latitude e longitude. A altitude mostrou uma relação negativa, ou seja, quando maior a altitude, menor a temperatura. Nos meses de junho e julho, que são os mais frios, precisa-se de que sejam acrescidos mais metros na altitude para que a temperatura decresça, enquanto os meses de janeiro, fevereiro e março tem variação de temperatura média do ar com menos acréscimo de altitude. A relação da latitude também mostrou-se negativa, sendo que nos meses de janeiro e fevereiro necessitou de maior variação em graus, para que a temperatura se modifica-se. A longitude mostrou uma relação positiva, porém com uma grande variação durante o ano, sendo que nos meses de maio e junho necessita-se de uma variação muito maior que os outros meses para que se tem alterações na temperatura.

Os modelos criados com os dados históricos das temperaturas médias do ar mostraram-se coerentes com as observações empíricas da produção do capim-sudão BRS

Estribo. As estimativas do número de pastejos, levando-se em consideração a metodologia adotada, de pastejo intermitente, com a planta entre 50 e 60 cm, sendo rebaixada até mais ou menos 15 cm, mostraram-se também proximidade com a realidade observada na produção. No caso da semeadura no início do período considerado ideal, no caso, em outubro, até o final do período de produção, que se dá em abril, pode-se alcançar até 12 pastejos nos melhores casos, e 3 pastejos, nos piores casos. Quando cultivado em fevereiro, garante-se pelo menos 1 pastejo até o final de abril e nos melhores casos, alcança-se 5 pastejos. As regiões do norte e noroeste do Paraná, assim como a região noroeste do Rio Grande do Sul, apresentaram melhores valores nas estimativas do número de pastejos, mostrando que existe grande potencial para utilização, gerando assim maiores ganhos produtivos e conseqüentemente maior retorno financeiro para os produtores. Algumas regiões de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, que possuem temperaturas mais baixas historicamente, conseqüentemente apresentaram menores valores no potencial de pastejo, não impedindo a utilização da planta, considerando-se que é possível definir melhores estratégias utilizando estas informações. Estas regiões de menor produção estão mais próximas ao mar e possuem altitudes mais elevadas que as regiões de maior produção. A altitude influenciou no modelo de temperatura, pois observou-se que a em altitudes mais elevadas a temperatura tende a ser menor. Esta relação varia de acordo com a época do ano, mostrando-se mais relevante nos meses frios. Elementos como latitude e longitude também influenciaram no modelo, sendo que quando maior a latitude a temperatura tende a subir, e quando menor a longitude, a temperatura sofre decréscimo. Deve-se considerar que outros fatores, que não estão contemplados pelo modelo também podem influenciar na temperatura média do ar e conseqüentemente na produção do capim-sudão BRS Estribo.

Devido ao recente histórico de cultivo desta planta, ainda não existem informações mais consistentes para a comparação dos resultados de forma definitiva.

O modelo foi avaliado através de cálculos estatísticos, constatando-se que os resultados apresentam relevância para o estudo desta cultivar. Entre os cálculos utilizados para avaliação, podemos destacar o  $R^2$  e  $R^2$  ajustado, que são medidas de desempenho do modelo, onde obteve-se uma precisão média de 73%. É importante salientar, que o modelo poderia mostrar maior precisão no caso de uma maior quantidade de estações meteorológicas com registros históricos de temperatura, onde, principalmente no Rio Grande do Sul, necessitava-se de uma maior e melhor distribuição destas estações, pois na metade sul do

estado o número destes dispositivos é reduzido. Isto acarreta numa menor precisão do modelo no método de interpolação.

Pode-se destacar também que não foram encontrados trabalhos que utilizaram a metodologia aqui empregada, para a espacialização de dados na Região Sul, e com isso fazer uma comparação com outros métodos.

Para trabalhos futuros, sugere-se que sejam analisados também a disponibilidade hídrica histórica, que é fator fundamental para o desenvolvimento da planta, assim como outros fatores possam ser acrescentados ao modelo, como a possibilidade da ocorrência de geadas, visando buscar maior precisão dos resultados. A utilização de dados meteorológicos de outras estações, assim como de séries históricas mais recentes, também poderiam vir a contribuir com a discussão. A utilização de dados altimétricos de outras fontes, e também a aplicação de outras técnicas de espacialização de dados, para que possa-se comparar os modelos e assim, fazer a avaliação dos resultados.

Por fim, acredita-se que esta pesquisa contribuirá com futuros estudos do manejo do capim-sudão BRS Estribo, através da disponibilização de mapas de temperatura e das simulações de pastejo, assim como a disponibilização dos mapas matriciais de temperatura, para futuros trabalhos.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, Debora; MENDONÇA, Magaly. Climatologia das geadas em Santa Catarina. pt. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS**, v. 1, p. 762–773, 2004. Disponível em: [http://www.labclima.ufsc.br/files/2010/04/AGUIAR-E-MENDON%25C3%2587A\\_2004.pdf](http://www.labclima.ufsc.br/files/2010/04/AGUIAR-E-MENDON%25C3%2587A_2004.pdf). Acesso em: 25 jun. 2019.

ALVARENGA, Ramon Costa; NOCE, Marco Aurélio. **Integração lavoura-pecuária**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. P. 16. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/489736/1/Doc47.pdf>. Acesso em 18 nov. 2019.

ARUNA, C. *et al.* **Breeding Sorghum for Diverse End Uses**. Reino Unido: Elsevier Science, 2018. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). ISBN 9780081018804.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDUSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE. **Perfil da Pecuária no Brasil - Relatório Anual**. São Paulo: ABIEC, 2018. Disponível em: <http://abiec.siteoficial.ws/controle/uploads/arquivos/sumario2019portugues.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2020.

BAGIO, Edenir *et al.* Interpolação das variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação: Revisão dos métodos mais eficientes. **Geografia**, v. 40, p. 269–289, ago. 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Luiz\\_De\\_Novae\\_Vianna/publication/281065198\\_INTERPOLACAO\\_DAS\\_VARIAVEIS\\_CLIMATICAS\\_TEMPERATURA\\_DO\\_AR\\_E\\_PRECIPITACAO\\_REVISAO\\_DOS\\_METODOS MAIS EFICIENTES/links/55d3398908aec1b0429f31f5/INTERPOLACAO-DAS-VARIAVEIS-CLIMATICAS-TEMPERATURA-DO-AR-E-PRECIPITACAO-REVISAO-DOS-METODOS-MAIS-EFICIENTES.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luiz_De_Novae_Vianna/publication/281065198_INTERPOLACAO_DAS_VARIAVEIS_CLIMATICAS_TEMPERATURA_DO_AR_E_PRECIPITACAO_REVISAO_DOS_METODOS MAIS EFICIENTES/links/55d3398908aec1b0429f31f5/INTERPOLACAO-DAS-VARIAVEIS-CLIMATICAS-TEMPERATURA-DO-AR-E-PRECIPITACAO-REVISAO-DOS-METODOS-MAIS-EFICIENTES.pdf). Acesso em: 20 jun. 2019.

BARDIN, Ludmila; PEDRO JÚNIOR, MJ; MORAES, Jener FL de. Estimativa das temperaturas máximas e mínimas do ar para a região do Circuito das Frutas, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 14, n. 6, p. 618–624,

2010. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662010000600008&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662010000600008&script=sci_arttext&tlng=pt). Acesso em 17 mai. 2019.

BENNETT, Lauren. **Machine Learning in ArcGIS**. [s.l.]: ESRI, 2017. Disponível em: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/analytics/analytics/machine-learning-in-arcgis/>. Acesso em: 13 set. 2019.

BERGAMIM, Manuela. **Cultivar de capim gera mais de R\$ 75 milhões para pecuária no Sul**. Porto Alegre: Editora Centaurus, 2016. Disponível em: <https://edcentaurus.com.br/ag/edicao/200/materia/7938>. Acesso em: 23 jun. 2019.

BIBI, Amir *et al.* Physiological and agronomic responses of Sudangrass to water stress  
PHYSIOLOGICAL AND AGRONOMIC RESPONSES OF SUDANGRASS TO WATER STRESS. **Journal of agricultural research**, v. 48, p. 369–380, jan. 2010.

BRUNINI, Orivaldo *et al.* Temperatura-base para alface cultivar "White Boston", em um sistema de unidades térmicas. **Bragantia**, SciELO Brasil, v. 35, n. 1, p. 213–219, 1976.

CARAMORI, Paulo Henrique *et al.* Zoneamento agroclimático para o pessegueiro e a nectarineira no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 1040–1044, 2008. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-29452008000400033&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-29452008000400033&script=sci_arttext). Acesso em: 19 mai. 2019.

CARGNELUTTI FILHO, Alberto; MALUF, Jaime Ricardo Tavares; MATZENAUER, Ronaldo. Coordenadas geográficas na estimativa das temperaturas máxima e média decendiais do ar no Estado do Rio Grande do Sul. pt. **Ciência Rural**, Scielo, v. 38, p. 2448–2456, dez. 2008. ISSN 0103-8478. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782008000900006&nrm=iso](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782008000900006&nrm=iso). Acesso em: 10 jun. 2019.

CARVALHO, José Ruy Porto de; ASSAD, Eduardo Delgado; PINTO, Hilton Silveira. Interpoladores geoestatísticos na análise da distribuição espacial da precipitação anual e de sua relação com altitude. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1235–1242, 2012.

Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/272785765\\_Interpoladores\\_geostatisticos\\_na\\_analise\\_da\\_distribuicao\\_espacial\\_da\\_precipitacao\\_anual\\_e\\_de\\_sua\\_relacao\\_com\\_altitude\\_Geostatistical\\_interpolation\\_in\\_the\\_analysis\\_of\\_spatial\\_distribution\\_of\\_annual\\_ra](https://www.researchgate.net/publication/272785765_Interpoladores_geostatisticos_na_analise_da_distribuicao_espacial_da_precipitacao_anual_e_de_sua_relacao_com_altitude_Geostatistical_interpolation_in_the_analysis_of_spatial_distribution_of_annual_ra). Acesso em: 15 mai. 2019.

CASTRO, Fábio da S. et al. Uso de imagens de radar na espacialização da temperatura do ar. **Idesia (Arica)**, Scielo.cl, v. 28, p. 69–79, dez. 2010. ISSN 0718-3429. Disponível em: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34292010000300009&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34292010000300009&script=sci_arttext). Acesso em 16 mai. 2019.

CEZAR, Ivo Martins *et al.* **Sistemas de Produção de Gado de Corte no Brasil: Uma Descrição com Ênfase no Regime Alimentar e no Abate**. Campo Grande - MS: Documentos EMPRAPA Gado de Corte, 2005. v. 151, p. 40. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/326307>. Acesso em: 27 jul. 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Impacto bioeconômico do capim-sudão BRS Estribo na produção de bovinos de corte**. Bagé, 2017. (18m31s). Disponível em: <https://youtu.be/noXoQ1fIRyM>. Acesso em: 18 mai. 2019.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. ArcGIS Desktop, 2016. Disponível em: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>. Acesso em: 18 jun. 2019.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. How Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi\*) works, 2019. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/toolreference/spatial-statistics/h-how-hot-spot-analysis-getis-ord-gi-spatial-stati.htm>. Acesso em: 28 jan. 2020.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. Interpreting OLS results, 2018. Disponível em: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statisticstoolbox/interpreting-ols-results.htm>. Acesso em: 4 nov. 2019.

FORTES, Luiz Paulo Souto. **O sistema de Referência SIRGAS2000**. Belo Horizonte: IBGE, 2003. Disponível em: [ftp://geofp.ibge.gov.br/metodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia/outros\\_documentos\\_tecnicos/apresentacoes\\_artigos/2003/xxi\\_congresso\\_brasileiro\\_de\\_cartografia/cbc\\_2003\\_sirgas\\_a.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/outros_documentos_tecnicos/apresentacoes_artigos/2003/xxi_congresso_brasileiro_de_cartografia/cbc_2003_sirgas_a.pdf). Acesso em: 16 out. 2019.

FRITZSONS, Elenice; MANTOVANI, Luiz Eduardo; AGUIAR, Ananda Virgínia de. **Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no Estado do Paraná**. Blumenau: Revista de Estudos Ambientais, 2008. v. 10, p. 49–64. Disponível em: <https://bu.furb.br/ojs/index.php/rea/article/viewFile/902/681>. Acesso em: 12 ago. 2019.

FRITZSONS, Elenice; MANTOVANI, Luiz Eduardo; WREGGE, Marcos Silveira. Relação entre altitude e temperatura: Uma contribuição ao zoneamento climático no estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, n. 0, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/39471>. Acesso em 12 ago 2019.

FRITZSONS, Elenice; WREGGE, Marcos; MANTOVANI, Luiz. Altitude e temperatura: Estudo do gradiente térmico no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, n. 0, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/39665>. Acesso em 12 ago. 2019.

GASPARINI, Kaio Allan Cruz *et al.* Zoneamento agroclimático da cultura do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) para o estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 4, p. 707–717, 2015. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-66902015000400707&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-66902015000400707&script=sci_arttext&tlng=pt). Acesso em 17 mai. 2019.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2009. P. 120.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2008.

HAYNES, Cindy. **Cultivar versus Variety**. Iowa, Estados Unidos: Iowa State University, 2008. Disponível em: <https://hortnews.extension.iastate.edu/2008/2-6/CultivarOrVariety.html>. Acesso em: 10 jun. 2020.

KALKHAN, Mohammed A. **Spatial statistics: geospatial information modeling and thematic mapping**. Boca Raton - Estados Unidos: CRC press, 2011. P. 161.

KEISLING, T.C. Calculation of the Length of Day 1. **Agronomy Journal**, American Society of Agronomy, v. 74, n. 4, p. 758–759, 1982.

KÖRNER, Christian; HILTBRUNNER, Erika. The 90 ways to describe plant temperature. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, Elsevier, v. 30, p. 16–21, 2018.

LI, Hui *et al.* Integrative Method Based on Linear Regression for the Prediction of Zinc-Binding Sites in Proteins. **IEEE Access**, IEEE, v. 5, p. 14647–14656, 2017. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7990485>. Acesso em: 14 mar. 2019.

MALCORRA, Michele Pereira *et al.* Métodos para determinação da soma térmica para o subperíodo de semeadura a emergência do capim sudão. Embrapa Pecuária Sul-Artigo em anais de congresso (ALICE), in: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 25.; SEMANA INTEGRADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO. **Anais**. Pelotas: UFPEL, 2016. Disponível em: [https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2015/CA\\_02833.pdf](https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2015/CA_02833.pdf). Acesso em: 26 out. 2020.

MALCORRA, Michele Pereira *et al.* Determinação do intervalo entre cortes para o capim-sudão utilizando a soma térmica. Embrapa Pecuária Sul-Artigo em anais de congresso (ALICE), CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 26.; ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO. **Anais**. Pelotas: UFPEL, 2017. Disponível em: [http://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2017/CA\\_02317.pdf](http://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2017/CA_02317.pdf). Acesso em: 26 out. 2020.

MAVI, Harpal S; TUPPER, Graeme J. **Agrometeorology: principles and applications of climate studies in agriculture**. Nova York: Food Products Press, 2004. P. 364.



MEDEIROS, Salomão de S. *et al.* Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Departamento de Engenharia Agrícola-UFCG, v. 9, n. 2, p. 247–255, 2005. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662005000200016&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662005000200016&script=sci_arttext). Acesso em 15 mai. 2019.

MIRANDA, Evaristo Eduardo de. Brasil em relevo. **Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite**, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 19 Mai. 2019.

PENNA, Alexandre Gualberto *et al.* Produção de seis híbridos de sorgo com capim-sudão avaliados em três cortes e em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 01, p. 93–105, 2010. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/324>. Acesso em 13 mai. 2019.

PEZZOPANE, José Ricardo Macedo *et al.* Zoneamento de aptidão climática para os capins marandu e tanzânia na região sudeste do Brasil. **Embrapa Pecuária Sudeste-Documents (INFOTECA-E)**, São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2012. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/15446911.pdf>. Acesso em 14 mai. 2019.

REGERT, Franco Coitinho *et al.* Produção intensiva de carne bovina em pasto de capim-sudão cultivar BRS Estribo: um estudo de caso. In: **JORNADA [DO] NÚCLEO DE ESTUDOS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE**, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1026125/1/LampertNESPRO2015.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2019.

RUELAS, Jose Luis Juarez. **Modelagem do parâmetro de irrigação: um estudo de caso para o capim sudão BRS Estribo**. 2018. F. 83. Diss. (Mestrado) – Mestrado em Computação Aplicada – Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, Bagé. Disponível em: <http://dspace.unipampa.edu.br:8080/jspui/handle/rii/3941>. Acesso em: 6 jul. 2020.

SÁNDOR, Renata *et al.* Plant acclimation to temperature: Developments in the Pasture Simulation model. **Field Crops Research**, Elsevier, v. 222, p. 238–255, 2018.

SANTOS, Alexandre Rosa dos *et al.* **Espacialização de Dados Meteorológicos no ArcGIS 10.3: Passo a passo**. Alegre, ES: CAUFES, 2015. P. 64. Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/LivroEspDadosMeteor/EspacializacaoDadosMeteorologicosArcGIS103.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2019.

SANTOS, Jorge Luiz Sant’Anna dos; SILVA, Renata Wolf Suñé Martins da; TONINI, Helio. Relatório de avaliação dos impactos das tecnologias gerada pela Embrapa. **Embrapa Pecuária Sul-Documentos (INFOTECA-E)**, Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2019. Disponível em: [https://bs.sede.embrapa.br/2018/relatorios/pecuariasul\\_2018\\_capimsudao.pdf](https://bs.sede.embrapa.br/2018/relatorios/pecuariasul_2018_capimsudao.pdf). Acesso em: 23 jun. 2019.

SEDIYAMA, Gilberto Chohaku *et al.* Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 501–509, 2001. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/revista/cap14.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2019.

SILVA, Pamela Silveira da *et al.* Produção leiteira de vacas holandesas em pastagem de capim-sudão na região da Campanha. Embrapa Pecuária Sul-Artigo em anais de congresso (ALICE), CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 27.; SEMANA INTEGRADA DE ENSINO, **Anais**. Pelotas: UFPEL, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/185829/1/CA-01075.pdf> Acesso em: 25 mai. 2019.

SILVEIRA, Márcia Cristina Teixeira da; MONTARDO, Daniel Portella; SANT’ANNA, Danilo Menezes. Pasto sobre pasto: estratégias de manejo para uso de mesclas forrageiras de inverno e verão visando melhor distribuição de forragem. **Embrapa Pecuária Sul-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2019.

SILVEIRA, Márcia Cristina Teixeira da *et al.* Aspectos relativos à implantação e manejo de capim-sudão BRS Estribo. **Embrapa Pecuária Sul-Documentos (INFOTECA-E)**, Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2015.

TVEITO, Ole Einar. The developments in spatialization of meteorological and climatological elements. **Spatial interpolation for climate data: the use of GIS in climatology and meteorology**, Wiley Online Library, p. 73–86, 2007.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. **Introductory econometrics: A modern approach**. 6. ed. Canadá: Nelson Education, 2015. P. 789.

WREGGE, Marcos Silveira *et al.* **Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. 2. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012., 2012. P. 333.

YOU, Jinsheng; HUBBARD, Kenneth G; GODDARD, Steve. Comparison of methods for spatially estimating station temperatures in a quality control system. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, Wiley Online Library, v. 28, n. 6, p. 777–787, 2008.