

3 PRODUTO EQUALIZADOR CLIMÁTICO

Este produto propõe o desenvolvimento de uma ferramenta computacional denominado "Equalizador Climático" como produto desenvolvido junto ao Programa de Mestrado Profissional em Clima e Ambiente (PCAM) do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC). O principal enfoque desta ferramenta é aplica-lo no setor do agronegócio, sendo os potenciais utilizadores desta informação os produtores rurais, associações de produtores, funcionários e técnicos do setor público, universidades e organismos de investigação científica. O Equalizador Climático também pode ser aplicado para outras atividades/setores da sociedade que são influenciadas pelas condições climáticas como; defesa civil, maricultura, indústria de confecções, setor elétrico entre outros.

Para avaliar o comportamento desta ferramenta, foi desenvolvido o artigo intitulado "*Análise das variáveis agroclimáticas na estimativa de produtividade do arroz irrigado em Uruguaiana/RS*", que sintetiza o fluxo complexo das informações utilizadas para o cálculo dos indicadores. Em resumo, os metadados (variáveis climatológicas organizadas no tempo-espaço) utilizados foram tratados a partir de um modelo analítico de regressão linear múltipla que identifica os indicadores que mais impactam as safras nos anos estudados entre 1985 a 2017.

3.1 Aspectos sociais e ambientais do aplicativo climático

O aspecto social será a linguagem e o formato apropriado e compreensível para os usuários de diversos níveis social e cultural do agronegócio. O agente poderá ter acesso ao aplicativo através do uso de microcomputadores pessoais, *smartphones* e/ou disponíveis para acesso na *web*. Desta forma, o agente irá adquirir uma melhor capacidade de usar as informações climáticas, ambientais e sociais para planejar estrategicamente suas atividades. Sendo assim, é possível diagnosticar, através das condições climáticas atualizadas, as cultivares e espécies a serem cultivadas, melhorando assim as práticas agrícolas, o uso dos recursos hídricos e, ainda, extrair as melhores condições ambientais do presente e do futuro.

Além disso, essa ferramenta computacional será útil e relevante para apoiar a tomada de decisão e na formulação de políticas nos setores da sociedade que mais são afetadas pela variabilidade e mudanças climáticas, deixando registrado um legado no conhecimento da sua atividade para gerações futuras.

3.2 Aspectos econômicos do aplicativo climático

Através do sistema o produtor conseguirá analisar com uma margem de segurança sua lucratividade para as possíveis variações climáticas previstas com meses, anos de antecedência e durante a atividade agrícola. Impactando de forma positiva seus ganhos em função da redução do uso de agrotóxicos, insumos e economia dos recursos naturais (água, luz e combustível fóssil). O maior ganho será através da redução das perdas do processo, desde o preparo do solo até a comercialização dos cereais.

As regiões produtoras também serão beneficiadas diante da fomentação da cadeia produtiva criada pelo agronegócio. O aumento da arrecadação da região poderá ser direcionada para educação, saúde e segurança. Assim, esse sistema irá mitigar as condições desfavoráveis para determinada cultura agrícola e indicar as mais favoráveis e adaptadas para as condições climáticas previstas. Além disso o Equalizador Climático permite que os agricultores visualizem com mais detalhes a história dos cultivos de anos análogos, identificando os momentos de possíveis perdas e ganhos na produção. O aplicativo dá ao agricultor a oportunidade de modelar e testar os diferentes cenários de rentabilidade e investimento do seu negócio, além de contribuir possivelmente para os pilares da sustentabilidade. As decisões serão feitas mais rápidas e precisas, além de ajudar na identificação dos limitantes para sua rentabilidade.

3.3 Métodos

O Equalizador Climático é uma ferramenta utilizada que propõem parâmetros para estimar a produtividade do arroz para a região de Uruguaiana. A equalização permite a identificação dos indicadores climáticos mais impactantes, através dos dados históricos, assim promover a harmonização da atividade agrícola, além poder

integrar com as outras atividades econômicas, sociais e ambientais. O equalizador climático não trata somente os aspectos analíticos agroclimáticos, mas também da expertise do produtor rural e seu grupo técnico com a atividade orizícola. A medida que são explorados novos indicadores, as estratégias vão ficando mais eficazes.

Basicamente o sistema é composto de um aplicativo computacional (*software*) onde é aplicada a equação (3.1), a partir da qual é realizado um ajuste do Modelo de Regressão Linear Múltipla, formulada como:

$$Y_i(t) = \beta_0 + \beta_1 x_1(t) + \beta_2 x_2(t) + \dots + \beta_k x_k(t) \quad (3.1)$$

onde: (Y_i) , $i = 1, \dots, k$ é o valor estimado pela equação para cada ano (t), β_0 é um valor constante (1626,9), (β_i) são os coeficientes de regressão para cada uma das variáveis independentes (x_i) . A tabela 3.1 apresenta as informações das variáveis climáticas e constantes aplicadas no equalizador. Mais informações sobre as variáveis utilizadas encontram-se no capítulo dois (artigo científico).

Tabela 3.1 – Local e variáveis da equação de Regressão Linear Múltipla aplicada no Equalizador Climático

Mês	Variável Independente (Unidade)	Coefficiente de Regressão	Valor do Coeficiente
		β_0	1626,9
SET	NINO3.4 (C)	β_1	-2285
SET	NINO1+2 (C)	β_2	-684,6
SET	PREC (mm)	β_3	351,9
SET	NEBU (décimos)	β_4	27,9
OUT	NINO3.4 (C)	β_5	2733
OUT	NINO1+2 (C)	β_6	846,3
OUT	PREC (mm)	β_7	152
OUT	TMAX_ABS (C)	β_8	284,1
NOV	NINO3.4 (C)	β_9	-789,4
NOV	NINO1+2 (C)	β_{10}	-385,4
NOV	NEBU (décimos)	β_{11}	327
JAN	NEBU (décimos)	β_{12}	253,7
JAN	RAD_GLO (W.m ⁻²)	β_{13}	127,5
FEV	TCRIT_14 (C)	β_{14}	-118,7
FEV	RAD_GLO (W.m ⁻²)	β_{15}	348,3
MAR	NINO3.4 (C)	β_{16}	-417,5
ABR	NINO3.4 (C)	β_{17}	154,2

ABR	PREC (mm)	β_{18}	132,1
ABR	TMAX_MED (C)	β_{19}	-29,4

Fonte: Elaborado pelo autor

Em função da reta de regressão apresentada na equação 3.1, o produto servirá como ferramenta para a tomada de decisão do agricultor em relação ao plantio. Em resumo, para cada variável preditora, seu coeficiente de regressão (β) é fracionados em escores definidos aqui como escore de sucesso e escore de fracasso. Para cada ano/mês, o escore de sucesso (ES) é definido como a soma dos valores da distribuição que se encontram no percentil de 10% (f_{1i}) em torno do valor observado ou previsto da respectiva variável. Por sua vez, o escore de fracasso (EF) é a soma dos valores da distribuição que se não encontram no percentil de 10% (f_{2i}) em torno do valor observado. As equações (3.2) e (3.3) demonstram o cálculo de ES e EF. O resultado do produto é apresentado em termos de cotas de sucesso ou fracasso para o plantio para determinado ano.

$$ES = \sum_{i=1}^{19} \left(\frac{f_{1i}}{f_{1i}+f_{2i}} \right) \cdot \beta_i \quad (3.1)$$

$$EF = \sum_{i=1}^{19} \left(\frac{f_{2i}}{f_{1i}+f_{2i}} \right) \cdot \beta_i \quad (3.2)$$

3.4 Resultados do Produto Equalizador Climático

Como exemplo do produto desenvolvido, apresentamos um estudo de caso para a variável nebulosidade do mês de setembro (Nebu_9). Supondo que há uma previsão média mensal de 4.5 décimos para esta variável no ano da próxima safra, o coeficiente de regressão linear 27.9 desta variável é fracionado em duas partes proporcionais à frequência de anos de baixa produtividade e alta produtividade na faixa de valores entre 4 e 5 (10% de limiar), conforme a figura 3.1. Observa-se que são obtidos 7 anos com alta produtividade (Fig. 3.1(c)) e 4 anos com baixa produtividade (Fig. 3.1(d)). Dessa forma, de acordo com a eq. (3.1) se obtém o valor de ES 17,75 ($ES = \frac{7}{11} \cdot 27,9 = 17,75$) favorável à alta produtividade e 10,15 ($\frac{4}{11} \cdot 27,9 = 10,15$) favorável à baixa produtividade, ou seja, considerando a variável

Nebu_9 com previsão de 4.5, temos 17,75 cotas de indicação de que a próxima safra terá aumento de produtividade em relação à safra passada contra 10,15 cotas de indicação do contrário.

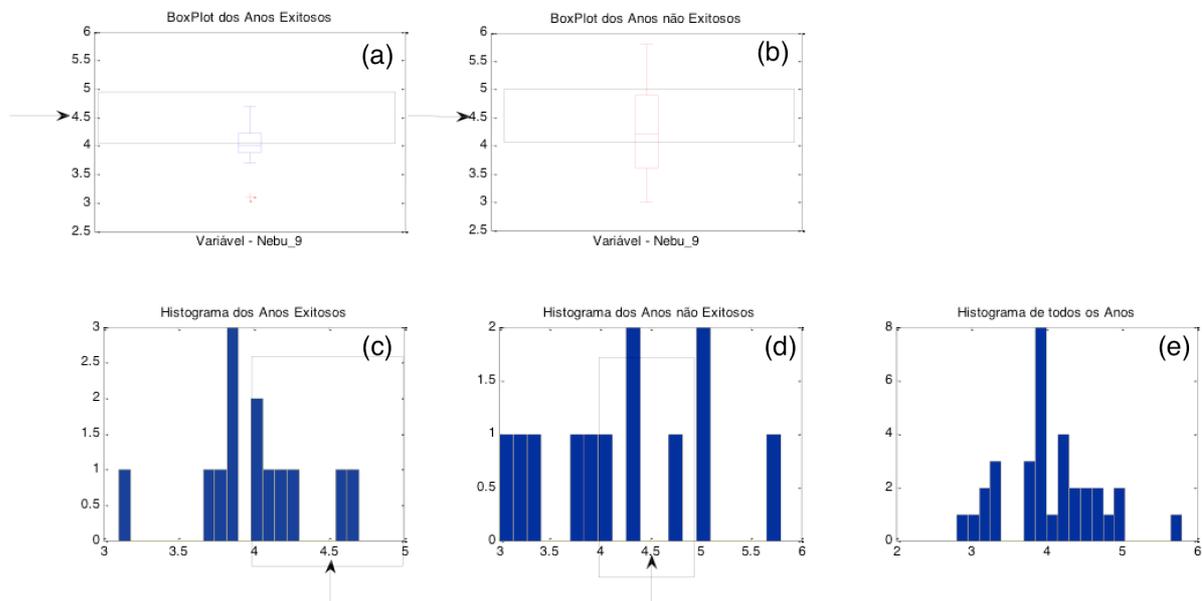


Figura 3.1 – *Boxplots* da variável Nebu_9 para anos exitosos (a) e não exitosos (b) e histogramas para anos exitosos (c), não exitosos (d) e toda a série (e).

Considerando o fator climático, são analisadas oito variáveis que obtiveram o maior impacto na produtividade de setembro a abril encontradas pela regressão linear múltipla. Para caracterizar ainda mais as relações entre produtividade e a variabilidade climática ao longo do tempo foram comparados dois anos de maior (2006, 2011) e menor (1988, 2003) produtividade, visando identificar as anomalias série de rendimento do arroz irrigado em Uruguaiana/RS.

De acordo com os resultados, nota-se que os sinais dos indicadores (coeficientes) são bem distintos entres os baixos e altos rendimentos, principalmente nos períodos mais críticos da safra (setembro, outubro, janeiro, fevereiro e abril). Enquanto os anos de altas produtividades são beneficiadas pelo resfriamento do Niño 3.4 no mês de setembro (-0,11 e -0,1) e outubro (-0,1 e -1,73), os anos de baixas produtividades são prejudicados pelo aquecimento do Niño 3.4 nos meses de setembro (1,01 e 1,77) e outubro (1,2 e 1,42). Estas análises se mostraram eficientes na identificação de eventos extremos de curta duração, como ocorrido no mês de fevereiro nas baixas produtividades com ocorrência de temperatura inferior

ou igual a 14°C (Temp_Critica<=14_02) que provocaram de forma significativa a redução na produtividade.

Em resumo, para avaliar a safra de um ano futuro, o agricultor deve analisar os *boxplots* e confrontar com as projeções das respectivas variáveis no ano, determinar se o mesmo apresentará alta ou baixa produtividade. As análises dos *boxplots* serão projetadas para produzir grupos de eventos que ocorrem em padrões climáticos análogos. Isso ajudaria a comparar, sob uma condição semelhante, quais as variáveis (incluindo os seus os períodos) mais impactam a safra do arroz irrigado nos altos e baixos rendimentos. Essa estrutura permite criar limiares das variáveis climáticas que podem afetar substancialmente em períodos de alta duração ou de curta duração como temperaturas baixas e altas, volumes de precipitação altos e baixos de entre outros indicadores, para saber quais as contingências mais adequadas para enfrentar um evento climático extremo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como resultado final, este trabalho mostra que as informações geradas pelos indicadores agroclimáticos podem ser úteis para o produtor de arroz irrigado na Região Sul do Brasil, com meses de antecedência ao início de uma atividade agrícola. Com isso, é possível realizar a tomada de decisão sobre a cultura, visando minimizar riscos, custos e aproveitar as oportunidades. Os indicadores encontrados no artigo identificaram as variáveis agroclimáticas que mais afetam a planta durante cada estágio no cultivo do arroz irrigado na região de Uruguaiana/RS. As análises das combinações de indicadores agroclimáticos ressaltaram, por ordem de magnitude de valor dos coeficientes de regressão, as seguintes variáveis: Niño3.4, Niño1+2, precipitação e nebulosidade. Entre o final do período vegetativo e o início do reprodutivo (JAN e FEV) as variáveis mais impactantes são a nebulosidade e a radiação global. Isso ajudaria identificar padrões climáticos semelhantes favoráveis e desfavoráveis na rentabilidade agrícola. Estas combinações dos indicadores agroclimáticos apresentaram uma correlação de rendimentos do arroz irrigado com 81% de R^2 (pred).

Não é fácil distinguir entre a influência das práticas agrícolas e a influência climática. Porém, as detecções das mudanças no clima são sutis e, já começam a serem observadas pelos produtores e meteorologistas, com mais frequência nos últimos anos no que se refere ao atraso do plantio, saindo do período recomendado, mas obtendo maiores produtividades (2015 e 2018). Este trabalho mostra que anos de maior produtividades estão associados com precipitação elevada e anomalias positivas na região do Oceano Pacífico Equatorial durante os meses de plantio. No entanto, os agricultores podem ter atrasado, ou replantado, a cultura, beneficiando assim a produtividades.

Já o produto proposto Equalizador Climático age de forma a encontrar em anos passados situações análogas visando indicar ao produtor o que ocorreu de favorável e desfavorável na produção agrícola naquela época. Por exemplo, a planta foi afetada de forma negativa pelas baixas temperaturas no mês de fevereiro, mas respondeu de forma positiva a radiação global. Com isso, é possível atualizar mensalmente com se comportará a relação clima-planta a partir da obtenção de novas informações (dados) e produzir uma resposta para o sistema agrícola. Em um estágio futuro, o Equalizador Climático pode fornecer uma resposta imediata as mudanças entre o clima e atividades agrícolas, indicando ao produtor uma solução (e não somente uma previsão) para uma determinada variação climática em cada estágio da cultura.

Além disso, é importante investigar com maior detalhamento os anos de eventos extremos. Assim, se permite definir estratégias adequadas de mitigação e adaptação para saber quais as melhores práticas agrícolas (época de semeadura, adubação, manejo, irrigação, cultivares, etc.) que se adequam com padrões climáticos semelhantes. Como se pode constatar, os anos de 1988, 1991 e 1993 foram os que registraram 5 dias com temperaturas igual ou menor que 14C no mês de fevereiro. Estas ondas de frio fora de época contribuíram significativamente para a redução da produtividade.

Por fim, esse trabalho sugere que o produtor possa agir de maneira sistemática para enfrentar os desafios das variações climáticas e, em seguida,

desenvolver os princípios que definem e distinguem a estratégia de ação de contingência e resiliência focada na sustentabilidade da produção agrícola. As análises obtidas visam minimizar (maximizar) os impactos negativos (positivos) do clima em cada momento do desenvolvimento da planta, através do uso de indicadores (índices). Essa ferramenta estatística foi desenvolvida para complementar as atuais informações de previsão climática (por exemplo, precipitação acima ou abaixo da média) disponibilizadas pelos Centros de Previsão. A partir desse método de regressão linear múltipla é possível identificar mensalmente os elementos climáticos que mais afetaram a planta, obtendo limiares de impactos. Portanto, o projeto do “Equalizador Climático” irá permitir, em uma única ferramenta, sistematizar as informações agroclimáticas em termos probabilísticos e fazer projeções futuras associadas rentabilidade na atividade agrícola.

Como sugestão de trabalhos futuros, propõe-se a ampliação de informações necessárias para melhorar as análises dos indicadores como, por exemplo, o uso da data da semeadura, tipo de cultivar e práticas agrícolas. Além disso propões também a ampliação do período de estudo e a utilização da técnica de validação cruzada.