

Sistema de Mapeamento da Aptidão Climática e Fisiográfica – AptClim: acesso, método e exemplo de uso

Climate and Physiographic Suitability Mapping System - AptClim: access, method, and example of use

Luiz Fernando Vianna (<https://orcid.org/0000-0002-8129-3655>)

Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia (EPAGRI/CIRAM), Florianópolis, SC, Brasil. *Email para correspondência: vianna@epagri.sc.gov.br

Submissão: 13/03/2024 | Aceite: 09/05/2024

RESUMO

O Sistema de Mapeamento da Aptidão Climática e Fisiográfica (AptClim) tem como principal objetivo permitir ao usuário avaliar a aptidão climática e fisiográfica de uma área de interesse utilizando diferentes critérios e períodos climáticos. O AptClim foi desenvolvido na plataforma Google Earth Engine (GEE) e está disponível em <https://ciram.epagri.sc.gov.br/aptclim/>. Através do AptClim é possível mapear e avaliar a aptidão climática e fisiográfica considerando a climatologia mensal das temperaturas mínimas e máximas e da precipitação pluviométrica, além da declividade do relevo. Neste artigo apresentamos o AptClim, a forma de acessá-lo, o método utilizado no cálculo da aptidão e um estudo de caso para analisar a variação da aptidão climática para a palmeira juçara (*Euterpe edulis*) nas últimas quatro décadas. Foi percebido um aumento de 133% nas áreas com 100% de aptidão climática para a *E. edulis* entre as décadas de 1980 e 2010. No caso avaliado o AptClim se mostrou uma ferramenta acessível, prática e ágil para analisar a aptidão climática, gerar mapas de aptidão, calcular áreas por classe de aptidão e gerar séries históricas climáticas.

PALAVRAS-CHAVE: google earth engine; climatologia; mudanças climáticas; agrometeorologia.

ABSTRACT

The main objective of the Climate and Physiographic Suitability Mapping System (AptClim) is to allow the user to assess the climate and physiographic suitability of an area of interest using different criteria and climatic periods. AptClim was developed on the Google Earth Engine (GEE) platform and is available at <https://ciram.epagri.sc.gov.br/aptclim/>. Using AptClim, it is possible to map and evaluate the climatic and physiographic suitability considering the monthly climatology of minimum and maximum temperatures and rainfall, as well as the slope of the relief. In this article we present AptClim, how to access it, the method used to calculate suitability and a case study to analyze the variation in climate suitability for the juçara palm (*Euterpe edulis*) over the last four decades. There was a 133% increase in areas with 100% of climatic suitability for *E. edulis* between the 1980s and 2010s. In the case evaluated, AptClim proved to be an accessible, practical and agile tool for analyzing climate suitability, generating suitability maps, calculating areas by suitability class and generating historical climate series.

KEYWORDS: google earth engine; climatology; climate change; agrometeorology.

INTRODUÇÃO

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) é um instrumento de política agrícola e gestão de riscos na agricultura sob responsabilidade operacional e técnica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (BRASIL 2019). O acesso às informações do ZARC pode ser feito através do aplicativo ZARC Plantio Certo, onde o usuário obtém indicações de diferentes taxas de risco de perdas decorrentes de eventos climáticos. A consulta pode ser feita para uma variedade de culturas em nível municipal.

O ZARC está restrito às principais culturas do Brasil, não abrangendo aquelas de menor representação econômica ou as que possuem especificidades regionais. Através do ZARC Plantio Certo não é possível, por exemplo, avaliar a aptidão climática de uma cultura que não tenha sido ainda avaliada

pela Embrapa. O sistema também não considera os aspectos fisiográficos da aptidão para as culturas. Além de ser um sistema municipalizado, não permitindo identificar a variabilidade climática e fisiográfica existente dentro de um município.

Sistemas de mapeamento espaço-temporal para culturas vêm sendo desenvolvidos para auxiliar técnicos agrícolas e agrônomos na avaliação de potencial climático. Um exemplo é o portal de dados Global Agro-Ecological Zones - GAEZ da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO (FAO & IIASA 2021), uma aplicação via internet desenvolvida para prover acesso livre às bases de dados do estado atual e tendências futuras da produção agropecuária e da aptidão agrícola global.

Cada sistema possui seus objetivos específicos, de acordo com a demanda e o público a ser atendido. O Sistema de Mapeamento da Aptidão Climática e Fisiográfica (AptClim) tem como principal objetivo permitir ao usuário avaliar a aptidão climática e fisiográfica de uma área de interesse utilizando diferentes critérios e períodos climáticos. Sua versatilidade permite, por exemplo, avaliar os diferentes cenários de aptidão climática por períodos. Ou ainda avaliar a influência climática de uma quebra de safra de uma cultura em um determinado local e ano.

O AptClim foi desenvolvido na plataforma Google Earth Engine (GEE) e está disponível em <https://ciram.epagri.sc.gov.br/aptclim/>. O acesso é feito através de qualquer navegador. O AptClim evoluiu a partir do sistema de mapeamento climático espaço-temporal para culturas (PETER et al. 2019), com algumas adaptações e a implantação da análise fisiográfica.

Através do AptClim é possível mapear e avaliar a aptidão climática e fisiográfica considerando a climatologia mensal das temperaturas mínimas e máximas e da precipitação pluviométrica, além da declividade do relevo.

A aptidão é calculada com base nos critérios definidos pelo usuário. Os critérios são a área de interesse (AI), o período climático (ano inicial e ano final), o ciclo da espécie ou grupo de espécies (mês/dia inicial e final) e as faixas de valores ótimos para cada variável: temperatura média das mínimas, temperatura média das máximas, precipitação média do período e declividade. As áreas de interesse são os limites políticos estaduais e municipais do Brasil. O usuário também pode desenhar a própria área de interesse na interface do sistema.

O resultado da aptidão é apresentado em dois mapas. O mapa visualizado por padrão representa a aptidão combinada entre as três variáveis (temperatura, precipitação e declividade). No mapa de aptidão combinada estão representadas as porcentagens de atendimento aos critérios definidos pelo usuário para as três variáveis (classes de aptidão). Além do mapa de aptidão combinada, é gerado um gráfico de área (hectare) por classe de aptidão. Há também o mapa de aptidão total, que representa apenas as áreas que atendem 100% dos critérios definidos para as três variáveis.

Além dos mapas de aptidão, o usuário consegue visualizar mais dez mapas: limite da área de interesse; áreas agrícolas (SOUZA et al. 2020); precipitação média, temperatura média das mínimas, temperatura média das máximas, temperatura média, declividade, aptidão pelo intervalo de precipitação, aptidão pelo intervalo de temperatura e aptidão pelo intervalo de declividade.

O AptClim também gera seis gráficos climáticos mensais para a área de interesse e o período climático definidos: anomalia média da temperatura da superfície do oceano na região do “El Niño” (ENSO), temperatura média das máximas mensal, temperatura média das mínimas mensal, precipitação média mensal, média mensal do índice de severidade de seca de Palmer e déficit hídrico médio mensal.

Caso o usuário esteja trabalhando com espécies ou grupos de culturas agrícolas, o AptClim permite ainda avaliar a aptidão somente nas áreas agrícolas definidas no mapa de uso e cobertura do MapBiomias (SOUZA et al. 2020).

Neste artigo apresentamos o AptClim, a forma de acessá-lo, o método utilizado no cálculo da aptidão e um exemplo de uso para analisar a variação da aptidão climática para a palmeira juçara (*Euterpe edulis*) nas últimas quatro décadas. Considerada uma espécie de relevante interesse ecológico e econômico, já foi uma das espécies arbóreas de maior abundância na Floresta Ombrófila Densa – FOD (KLEIN 1978, SILVA & REIS 2018). Nas últimas duas décadas iniciaram-se em Santa Catarina trabalhos de pesquisa e extensão rural visando desenvolver sistemas produtivos conservacionistas para exploração econômica dos frutos da palmeira juçara para a fabricação do “açai”. Sua importância está tanto na produção econômica quanto na recuperação ambiental de regiões potencialmente aptas ao seu uso agrícola e com histórico de perda de áreas de floresta (VIANNA et al. 2023).

Com esse artigo pretendemos divulgar o sistema e disponibilizar o seu código para que outros

desenvolvedores possam utilizá-lo. Esperamos, também, que pesquisadores e técnicos agrícolas possam utilizá-lo como ferramenta de análise quando necessitarem fazer uma avaliação rápida da aptidão climática em qualquer local do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de cálculo do AptClim foi desenvolvido na plataforma Google Earth Engine (GEE) (GORELICK et al. 2017), utilizando a linguagem Java-Script. A base de dados é livre, de domínio público e está disponível no catálogo de dados do GEE (<https://developers.google.com/earth-engine/datasets>). O código em Java Script do AptClim está disponível em <https://doi.org/10.5281/zenodo.10804870>.

Como dados de entrada, o AptClim utiliza os mapas políticos da FAO GAUL (GRITA 2016), contendo os limites estaduais e municipais do Brasil; os mapas de uso e cobertura do solo do projeto MapBiomas (SOUZA et al. 2020); o modelo digital de elevação da Shuttle Radar Topographic Mission – SRTM, com 30m de resolução (FARR & KOBRICK 2007) e os dados climáticos do TerraClimate, com 4.638,3m de resolução (ABATZOGLOU et al. 2018).

Na Figura 1 está representado o esquema do método de cálculo da aptidão e da geração dos gráficos das séries temporais.

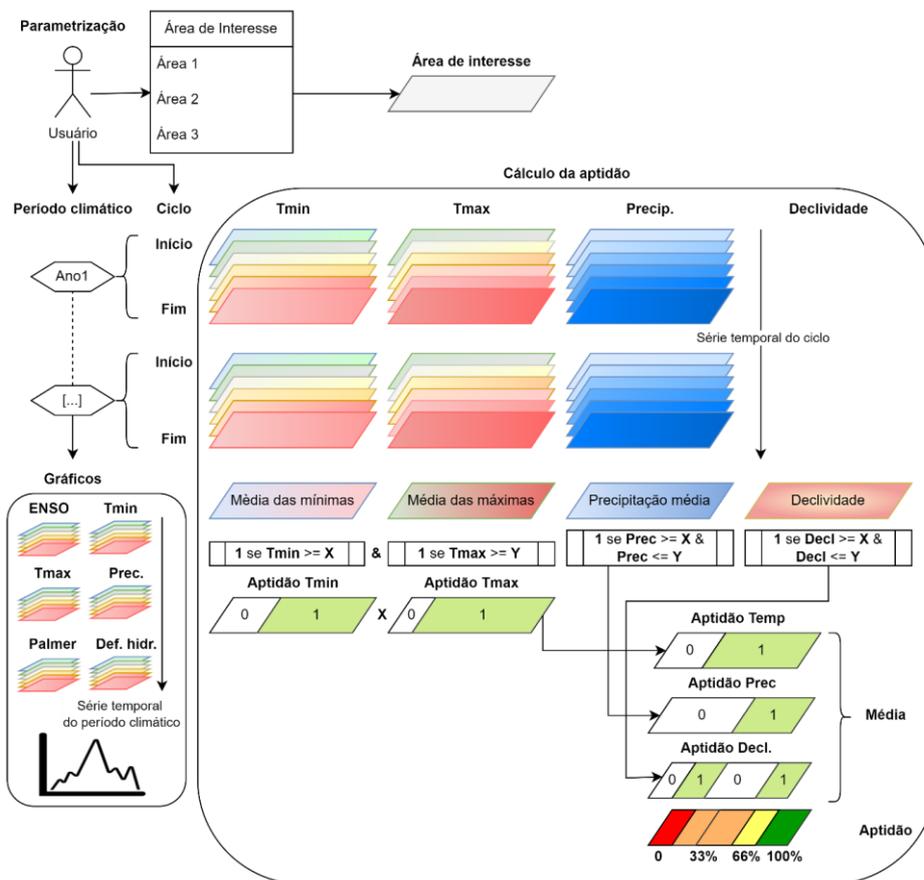


Figura 1. Esquema do método de cálculo da aptidão e de geração dos gráficos das séries temporais.
 Figure 1. Diagram of the method for calculating suitability and generating time series graphs.

O cálculo da aptidão ocorre após uma parametrização do usuário (Figura 1), sempre para uma área de interesse única, que pode ser um estado ou um município do Brasil ou ainda uma área desenhada na interface do sistema. O período climático pode ser definido entre setembro de 1981 e o último ano completo anterior ao ano atual.

Com base no período climático, o AptClim gera os gráficos climatológicos das médias mensais (Figura 1 - Gráficos). Esses gráficos representam a média mensal de cada variável dentro da área de interesse. As médias mensais são calculadas no GEE através de reduções agrupadas e estatísticas por zonas (https://developers.google.com/earth-engine/guides/reducers_grouping).

Para o cálculo da aptidão, além da área de interesse e do período climático, deve ser definido o ciclo da espécie ou grupo de espécies considerando o mês e o dia inicial e final. As médias climatológicas das variáveis são então calculadas para a área de interesse, o período climático e o ciclo da espécie ou grupo (Figura 1 – Cálculo da aptidão). Esse cálculo é feito através de reduções agrupadas e estatísticas por zonas (https://developers.google.com/earth-engine/guides/reducers_grouping).

A aptidão é calculada através de álgebra de mapas, seguindo o mesmo método adotado por VIANNA et al. (2023), mas aqui utilizando os intervalos ótimos de temperatura, precipitação e declividade definidos pelo usuário. Esses intervalos definem os limites de reclassificação da aptidão. Valores dentro do limite são reclassificados para 1, enquanto valores fora do limite, para 0 (Figura 1).

A aptidão pela temperatura é resultado entre o produto dos mapas de aptidão das temperaturas média das mínimas e média das máximas. A aptidão pela precipitação é resultado da reclassificação do mapa de precipitação média, assim como a aptidão pela declividade é resultado da reclassificação do mapa de declividade. O mapa de aptidão final é resultado da média entre os mapas de aptidão pela temperatura, pela precipitação e pela declividade.

Quando a região não atende a nenhum dos critérios, a aptidão é 0%; quando a região atende a um critério, a aptidão é 33%; quando a região atende a dois critérios, a aptidão é 66% e quando a aptidão atende a todos os critérios, a aptidão é 100% (Figura 1).

Parametrização do AptClim para analisar a variação da aptidão climática para a palmeira juçara (*Euterpe edulis*) nas últimas quatro décadas.

O acesso ao sistema deve ser feito através do link <https://ciram.epagri.sc.gov.br/aptc clim/>. Na página do AptClim há dois painéis. No da esquerda (painel principal) estão as ferramentas de seleção da área de interesse e os campos para definição do período para o cálculo climático, definição do ciclo da espécie ou grupo de espécies e definição do intervalo de valores ótimos das variáveis. Além do botão de cálculo da aptidão e de limpeza do mapa. No painel da direita são mostrados os gráficos climáticos (Figura 2).

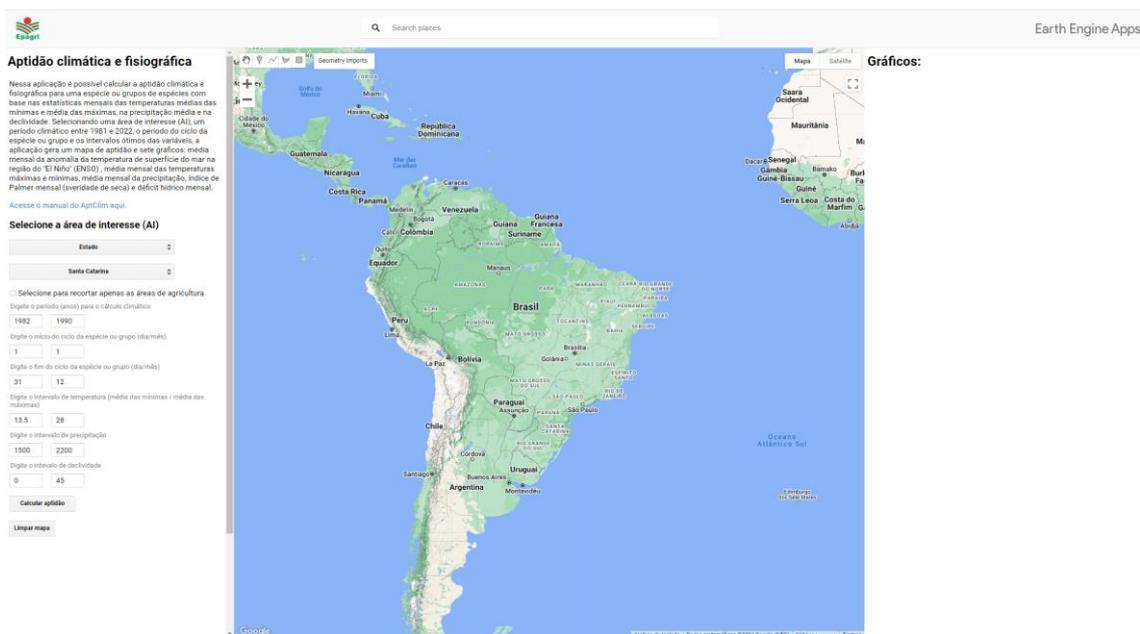


Figura 2. Layout do AptClim com a parametrização para cálculo da aptidão climática do estado de Santa Catarina para a palmeira juçara (*Euterpe edulis*) para a década de 1980.

Figure 2. AptClim layout with parameterization for calculating the climatic suitability of Santa Catarina state for juçara palm (*Euterpe edulis*) for the 1980s.

A parametrização do AptClim para a palmeira juçara (*Euterpe edulis*), seguiu os valores de temperatura, precipitação e declividade definidos por VIANNA et al. (2023). Por ser uma espécie perene, os autores consideraram o ciclo anual completo. A temperatura média das mínimas não deve ser inferior a 13,5 °C, enquanto a temperatura média das máximas não deve ser superior a 28 °C. O intervalo ideal de precipitação pluviométrica média anual deve estar entre 1.500mm e 2.200mm, e a declividade ideal do terreno entre 0 e 45° (VIANNA et al. 2023). Para analisar a variação da aptidão climática para a palmeira

juçara (*Euterpe edulis*) nas últimas quatro décadas foi necessário realizar quatro cálculos de aptidão, um para cada década.

O primeiro cálculo de aptidão foi realizado para o período 1982-1989 (e2), pois 1982 é o primeiro ano completo da série histórica. Para o cálculo da aptidão das demais décadas foram alterados apenas os períodos para 1990-1999; 2000-2009 e 2010-2019.

Os mapas e gráficos das séries temporais climáticas foram exportados como figuras. Os dados de área (hectares) por classe de aptidão por década e os dados climáticos mensais foram exportados como tabelas. A exportação dos dados climáticos foi feita a partir de cada gráfico, conforme descrito no manual de usuário disponível na página do AptClim. Os arquivos foram exportados em CSV e nomeados de acordo com a variável, o ano de inícios e o ano fim da série, segundo o padrão "VAR_ANO1_ANO2.csv".

Os dados climáticos foram importados no software R através de um script que lê automaticamente os dados das tabelas exportadas do AptClim e realiza as análises. Foi feita uma comparação climática entre as décadas utilizando-se análise multivariada: MANOVA-ANOVA; teste de homogeneidade de dispersões multivariadas baseado na distância (ANDERSON 2006) e a análise de componentes principais (PCA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ausência de dados climáticos nos dois primeiros anos da década de 1980 pode ter interferido nos resultados apresentados, porém não invalidam a capacidade analítica do AptClim nem a discussão acerca da variação espaço-temporal da aptidão climática e fisiográfica para a palmeira juçara em Santa Catarina entre as décadas de 1980 e 2010.

Na Figura 3 percebe-se uma tendência de alteração nas áreas com 100% de aptidão climática e fisiográfica (em verde nos mapas) entre as décadas de 1980 e 2010. Essa mudança ocorreu gradualmente na região oeste, enquanto no litoral percebeu-se uma expansão do norte para o sul.

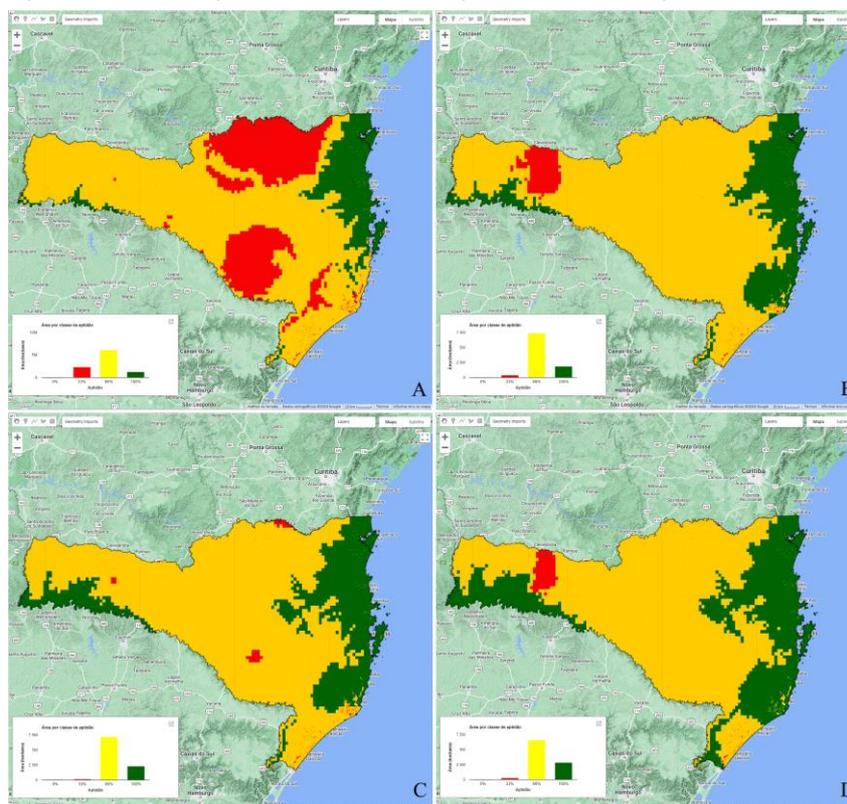


Figura 3. Variação espaço-temporal das classes de aptidão climática e fisiográfica para a palmeira juçara (*Euterpe edulis*) em Santa Catarina entre as décadas de 1980 (A), 1990 (B), 2000 (C) e 2010 (D), segundo o AptClim.

Figure 3. Spatio-temporal variation of the climatic and physiographic suitability classes for the juçara palm (*Euterpe edulis*) in Santa Catarina between the 1980s (A), 1990s (B), 2000s (C) and 2010s (D), according to AptClim.

Segundo o AptClim, entre a década de 1980 e 2010 houve um acréscimo de 1.590.543ha (133%) de

áreas com 100% de aptidão para a *Euterpe edulis* em Santa Catarina (Tabela 1).

Tabela 1. Área (em hectares) das classes de aptidão climática e fisiográfica para a palmeira juçara (*Euterpe edulis*) em Santa Catarina entre as décadas de 1980, 1990, 2000 e 2010, segundo o AptClim.

Table 1. Area (in hectares) of the climatic and physiographic suitability classes for the juçara palm (*Euterpe edulis*) in Santa Catarina between the 1980s, 1990s, 2000s and 2010s, according to AptClim.

Classe de aptidão	Área 1982-1989	Área 1990-1999	Área 2000-2009	Área 2010-2019
0%	0	0	0	0
33%	2.251.003	395.426	112.867	219.624
66%	6.054.818	7.294.934	7.123.546	6.503.947
100%	1.187.977	1.811.513	2.265.745	2.778.520

Comparando-se os gráficos climáticos gerados pelo AptClim foi possível visualizar algumas diferenças de padrões no comportamento das variáveis através das séries históricas. Um exemplo é o índice de severidade de seca de Palmer (Figura 4), que na década de 80 teve um decréscimo acentuado, com valores negativos entre 1985 e 1989, retornando a um patamar de positividade nas décadas seguintes.

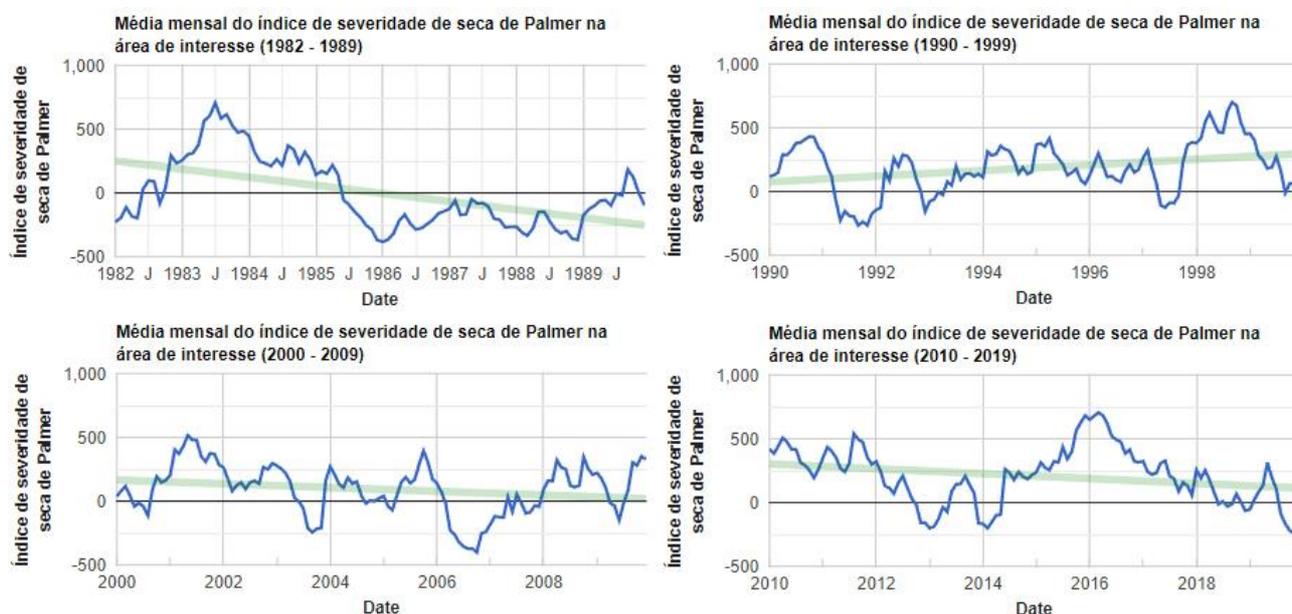


Figura 4. Variação da média mensal do índice de severidade de seca de Palmer em Santa Catarina nas décadas de 1980, 1990, 2000 e 2010 segundo o AptClim.

Figure 4. Monthly average variation of the Palmer drought severity index in Santa Catarina in the 1980s, 1990s, 2000s and 2010s, according to AptClim.

A alteração de áreas com 100% de aptidão pode ser explicada por diferenças climáticas entre as décadas (Tabela 2). As análises realizadas no software R corroboraram para isso. O resultado da MANOVA, indicou um valor $Pr(>F)$ de 8.782^{-09} para significância de 0,001, confirmando que há diferenças climáticas significativas entre as décadas. Avaliando-se as variáveis individualmente através da ANOVA, o índice de seca de Palmer ($Pr(>F) = 1.129^{-11}$), o déficit hídrico ($Pr(>F) = 0.02398$) e a anomalia da temperatura de superfície do oceano na região do “El Niño” ($Pr(>F) = 0.03939$) foram as que melhor explicaram a diferença entre as décadas.

O resultado do teste de homogeneidade de dispersões multivariadas baseado na distância euclidiana (Tabela 3) demonstrou que a década de 1980 foi climaticamente diferente das demais. Parte dessa diferença pode ser explicada pela ausência de dois anos de dados na série da década de 1980. Mas tanto o índice de seca de Palmer quanto a anomalia da superfície do oceano na região do “El Niño” sugerem uma maior variabilidade climática, com extremos de secas associados a presença da “La Niña” (Tabela 2, Figura 5).

Tabela 2. Estatísticas descritivas das variáveis climáticas por década.

Table 2. Descriptive statistics of climate variables by decade.

Variável	Década	Mínimo	q1	Mediana	Média	q3	Máximo
dh	1980	0,00	0,00	1,17	54,99	39,09	656,72
dh	1990	0,00	0,00	0,00	29,03	18,94	600,91
dh	2000	0,00	0,00	1,15	26,49	26,18	463,47
dh	2010	0,00	0,00	0,20	26,11	13,99	468,79
en	1980	-1,82	-0,89	-0,32	-0,11	0,67	2,64
en	1990	-1,55	-0,50	-0,06	0,08	0,43	2,94
en	2000	-1,73	-0,50	0,00	-0,02	0,38	1,50
en	2010	-1,37	-0,37	0,19	0,20	0,66	2,83
isp	1980	-383,74	-212,58	-88,39	-1,31	220,49	705,74
isp	1990	-266,39	76,26	184,07	185,39	319,94	699,89
isp	2000	-402,21	-23,81	122,36	92,51	228,09	515,13
isp	2010	-280,56	68,92	225,72	208,13	342,70	705,29
prec	1980	10,05	92,71	126,42	132,88	166,65	299,34
prec	1990	26,64	100,73	142,40	147,24	180,66	318,16
prec	2000	29,97	103,33	141,21	141,38	173,20	322,88
prec	2010	28,52	106,50	143,23	147,98	182,39	346,91
tmax	1980	16,47	19,55	22,16	22,36	25,36	28,42
tmax	1990	15,25	19,81	22,48	22,48	25,75	27,47
tmax	2000	15,97	20,19	23,07	22,87	25,92	28,09
tmax	2010	16,17	20,51	22,96	23,04	26,01	28,69
tmin	1980	5,05	8,99	11,74	11,85	14,74	17,90
tmin	1990	4,69	9,33	12,50	12,14	15,18	17,45
tmin	2000	4,02	9,53	13,32	12,58	15,49	18,34
tmin	2010	5,58	10,11	13,01	12,84	15,66	18,38

Dh (mm) – déficit hídrico médio; en – média da anomalia da temperatura da superfície do mar na região do “El Niño” (°C); isp – média do índice de severidade de seca de Palmer; prec – precipitação média (mm); tmax – temperatura média das máximas (°C); tmin – temperatura média das mínimas (°C).

Tabela 3. comparação pareada entre as décadas: p-value observado na diagonal inferior, p-value permutado na diagonal superior.

Table 3. Paired comparison between the decades: p-value observed on the lower diagonal, p-value permuted on the upper diagonal.

	1980	1990	2000	2010
1980		0,002	0,001	0,012
1990	0,00109099		0,541	0,470
2000	0,00014936	0,53322127		0,176
2010	0,00951344	0,45858310	0,17617816	

As demais variáveis também apresentaram uma tendência de aumento entre a década de 1980 e a de 2010, exceto o déficit hídrico. Em Santa Catarina houve uma tendência de aumento tanto na precipitação média quanto na temperatura média nas últimas quatro décadas, o que já foi observado por outras pesquisas no estado (MENDES & CRISTINA 2016, PANDOLFO et al. 2015).

O resultado da análise de componentes principais demonstrou que 73,5% da variabilidade dos dados está explicada pelas dimensões 1 e 2 (Figura 6. A). Essa variabilidade está associada principalmente à precipitação (0,83) ao déficit hídrico (-0,78) e ao índice de seca de Palmer (0,75) (Figura 6. B). A década de 1980 se diferenciou das demais pela sua variabilidade em relação à precipitação, com anos muito chuvosos e outros muito secos e pela sua temperatura, em média, inferior. As décadas seguintes apresentaram uma menor variabilidade de chuva e uma tendência gradual de aumento nas temperaturas e na precipitação (Figura 6. C).

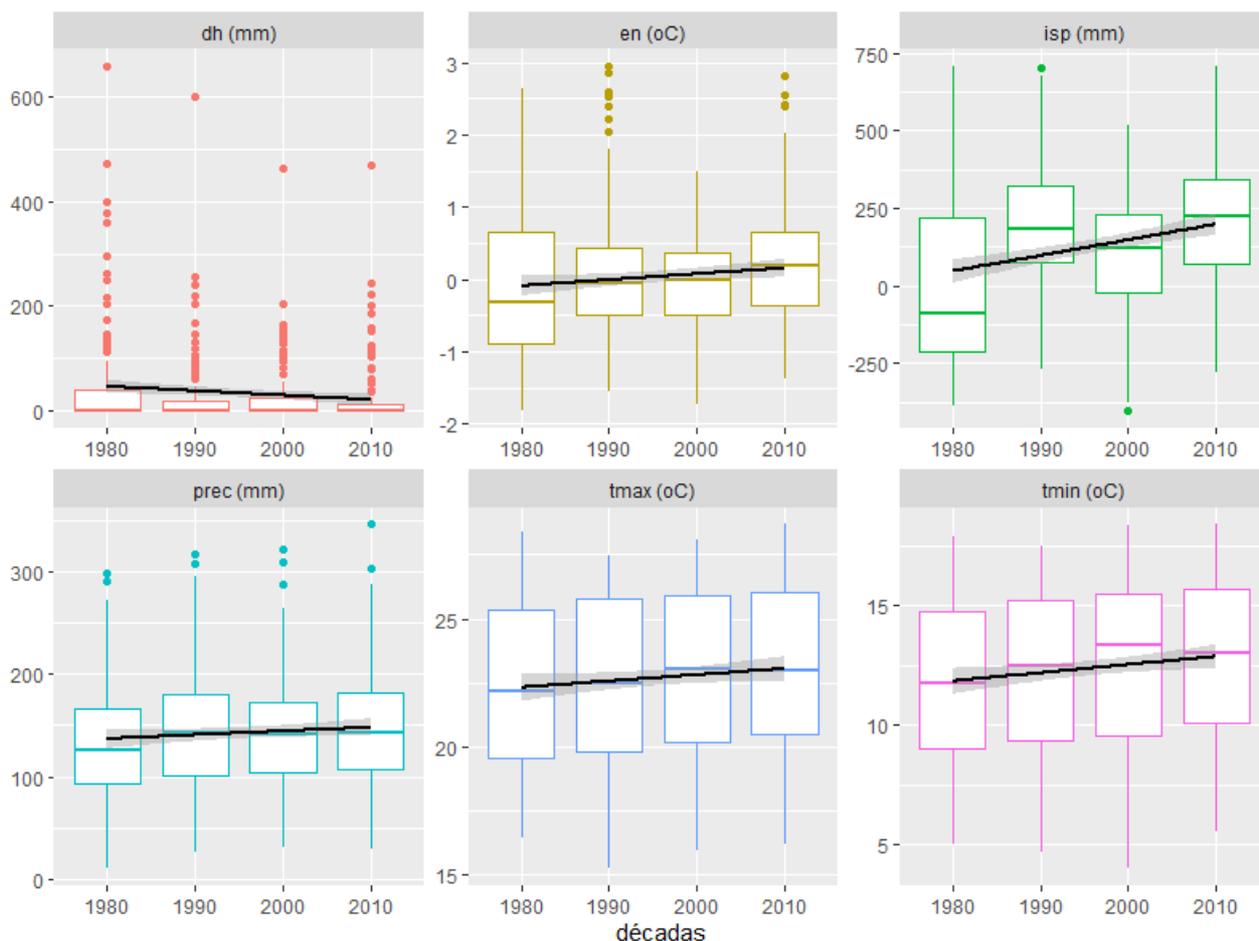


Figura 5. Boxplot das variáveis meteorológicas por década em Santa Catarina. dh – déficit hídrico médio; en – média da anomalia da temperatura da superfície do mar na região do “El Niño”; isp – média do índice de severidade de seca de Palmer; prec – precipitação média; tmax – temperatura média das máximas; tmin – temperatura média das mínimas.

Figure 5. Boxplot of meteorological variables by decade in Santa Catarina. dh - average water deficit; en - average sea surface temperature anomaly in the “El Niño” region; isp - average Palmer drought severity index; prec - average precipitation; tmax - average maximum temperature; tmin - average minimum temperature.

Os mapas gerados pelo AptClim indicaram que houve expansão da área com 100% de aptidão para a palmeira juçara em Santa Catarina entre 1982 e 2019. Essa expansão ocorreu de forma mais expressiva na região oeste do estado, onde a espécie foi catalogada em fragmentos florestais apenas recentemente (SZCZYGEL et al. 2021), e no litoral centro-sul (Figura 3). Da mesma forma, os dados climáticos indicaram que a década de 1980 apresentou uma maior variabilidade climática e que, em média, foi a década mais seca entre as quatro analisadas. Climaticamente ainda foi possível perceber um aumento gradual das temperaturas e da precipitação no período estudado (Figura 5).

Para avaliarmos se existe uma relação entre o aumento da área com 100% de aptidão e o aumento na temperatura e na precipitação seria necessário realizar estudos regionalizados, com destaque para a região oeste e o litoral sul do estado, onde as alterações de área foram mais significativas. Nesse aspecto o AptClim pode ser utilizado adotando-se o mesmo método apresentado nesse trabalho, apenas alterando a área de interesse.

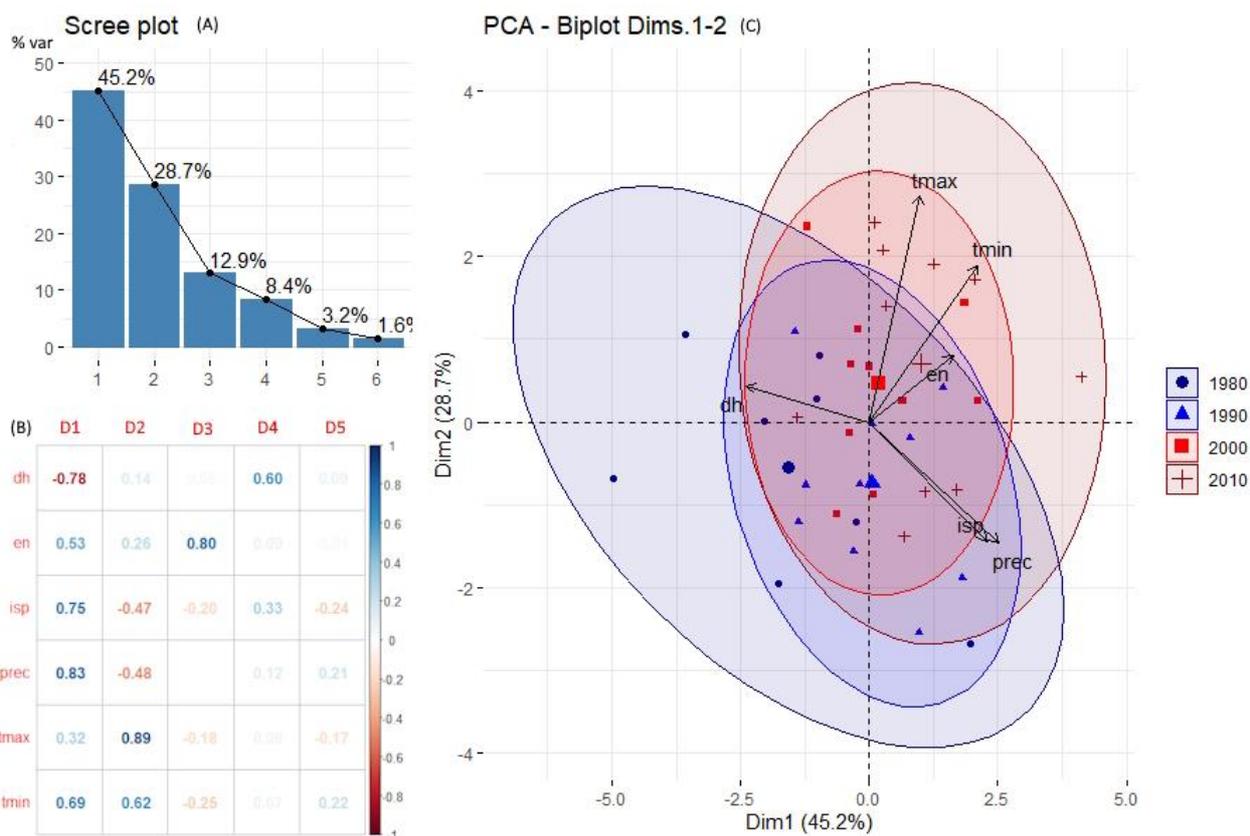


Figura 6. Resultado da análise de componentes principais (PCA). (A) Scree plot com a porcentagem da variância explicada por cada dimensão (Componente). (B) Alcance de cada variável dentro de cada dimensão: dh – déficit hídrico médio; en – média da anomalia da temperatura da superfície do mar na região do “El Niño”; isp – média do índice de severidade de seca de Palmer; prec – precipitação média; tmax – temperatura média das máximas; tmin – temperatura média das mínimas. (C) Biplot dos anos (casos) e das variáveis nas dimensões (componentes) 1 e 2.

Figure 6. Results of the principal component analysis (PCA). (A) Scree plot with percentage of variance explained by each dimension (Component). (B) Range of each variable within each dimension: dh - average water deficit; en - average sea surface temperature anomaly in the "El Niño" region; isp - average Palmer drought severity index; prec - average rainfall; tmax - average maximum temperature; tmin - average minimum temperature. (C) Biplot of years (cases) and variables in dimensions (components) 1 and 2.

CONCLUSÃO

Diante de um cenário de mudanças climáticas o AptClim se mostrou uma ferramenta ágil para analisar a aptidão climática da palmeira juçara em Santa Catarina. Através do AptClim foi possível gerar os mapas e uma série de dados que permitiu perceber que a aptidão pode variar significativamente no território em períodos de décadas.

Através do AptClim o usuário pode obter mapas e dados climáticos da sua área de interesse. Numa primeira aproximação é possível gerar mapas de aptidão e gráficos de séries temporais. Caso haja necessidade de análises mais detalhadas, é possível exportar os dados e analisá-los em outras aplicações.

Por ser uma ferramenta em constante atualização, para uma próxima versão pode-se planejar a inclusão de novas variáveis consideradas importantes para as análises de aptidão climática, como horas de frio, probabilidade de ocorrência de geadas e soma térmica.

REFERÊNCIAS

- ABATZOGLOU JT et al. 2018. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Scientific Data* 5: 1–12.
- ANDERSON MJ. 2006. Distance-Based Tests for Homogeneity of Multivariate Dispersions. *Biometrics* 62: 245–253.

- BRASIL. 2019. Decreto no 9.841, de 18 de junho de 2019 - Dispõe sobre o Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Decreto oficial [da] república federativa do Brasil. p.5–6.
- FAO & IIASA. 2021. Global Agro-Ecological Zones (GAEZ v4) - Data Portal user's guide. Rome: FAO and IIASA.
- FARR T & KOBRICK M. 2007. The shuttle radar topography mission. *Rev. Geophys* 45: 1–33.
- GORELICK N et al. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 202: 18–27.
- GRITA F. 2016. The Global Administrative Unit Layers (GAUL) BASIC CONCEPTS Food and Agriculture Organization (FAO). [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/FAOoftheUN/the-global-administrative-unit-layers-gaul-basic-concepts>>.
- KLEIN RMRM. 1978. Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues.
- MENDES A & CRISTINA M. 2016. Já podemos observar os impactos das mudanças climáticas na cultura da maçã em Santa Catarina? *Agropecuária Catarinense* 29: 13–14.
- PANDOLFO C. et al. 2015. Impactos das mudanças climáticas sobre a viticultura no estado de Santa Catarina. *Agropecuária Catarinense* 28: 61–66.
- PETER BG et al. 2019. Web-based GIS for spatiotemporal crop climate niche mapping. *Harvard Dataverse*. Disponível em: <<https://doi.org/10.7910/DVN/UFC6B5>>
- SILVA JZ & REIS MS. 2018. Fenologia reprodutiva e produção de frutos em *Euterpe edulis* (Martius). *Ciência Florestal* 28: 295–309.
- SOUZA CM et al. 2020. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing* 12: 27p.
- SZCZYGEL MT et al. 2021. Occurrence of *euterpe edulis* mart. (arecaceae) in atlantic forest fragments in southern brazil. *Check List* 17: 1395–1401.
- VIANNA LFN et al. 2023. Potential cultivation areas of *Euterpe edulis* (Martius) for rainforest recovery, repopulation and açai production in Santa Catarina, Brazil. *Scientific Reports* 13: 6272.