

# **Projeta Visual: uma app shiny do pacote EtaModelCC para a visualização de dados climáticos**

## **Projeta Visual: a shiny app from EtaModelCC package for climate data visualization**

**Tiago Luiz Bugone Seben<sup>2</sup>, Emanuel Fontana<sup>1</sup>, Carlos Amaral Hölbig<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PPGCA) – Universidade de Passo Fundo (UPF)

<sup>2</sup>Curso de Ciência da Computação – Universidade de Passo Fundo (UPF)

Campus 1, Prédio B5, BR 285, Bairro São José – Passo Fundo – RS – Brazil

tiagolbs31@gmail.com, fontanaemanoel@gmail.com, holbig@upf.br

**Abstract.** *Visualizing climate and environmental data is important for many areas to support your applications. However, a visualization of climate data ends up being restricted to expert users, especially when it is desired to visualize a large amount of data. This work presents a Web application for the visualization of climatic data, called Visual Project, incorporated in the EtaModelCC package. It allows users of CPTEC/INPE's Projeta platform to visualize climate change data in an iterative and easy-to-access manner, being able to visualize them in the form of graphs, maps and tables, and not only in the raw format as it is currently.*

**Keywords:** *Climate forecast, Eta Model, Projeta Platform, Web Applications.*

**Resumo.** *A visualização de dados climáticos e ambientais é importante para diversas áreas para dar suporte a suas aplicações. Todavia, a visualização dos dados climáticos acaba sendo restrita a usuários especialistas, principalmente quando é desejado visualizar uma grande quantidade de dados. Devido a estes fatores, este trabalho apresenta uma aplicação Web para a visualização de dados climáticos, chamada de Projeta Visual, incorporada ao pacote EtaModelCC. Ela possibilita a visualização dos dados de mudanças climáticas aos usuários da plataforma Projeta do CPTEC/INPE de forma iterativa e de fácil acesso, podendo visualizá-los em formato de gráficos, mapas e tabelas e não apenas no formato bruto como é atualmente.*

**Palavras-chave:** *Aplicações Web, Modelo Eta, Previsões Climáticas, Plataforma Projeta.*

## 1. Introdução

A visualização de dados climáticos pode ser aplicada em diferentes cenários como previsão do tempo [Fraley, Raftery and Gneiting 2011] e previsão de mudanças climáticas [Alder and Hostetler 2015], sendo que ambas corroboram com o processo de análise dos dados auxiliando pesquisadores nas tomadas de decisões em áreas como agricultura [Sriharan, Everitt and Fletcher 2008], ecologia [Hallgren et al. 2016] e hidrologia [Brooking and Hunter 2013].

Atualmente, têm-se disponível grande quantidade e variedade de dados climáticos e ambientais, tanto os obtidos por sensores localizados, por exemplo, em estações meteorológicas, aviões, navios e boias marítimas, como os gerados por modelos de previsão de tempo e de clima. Estes dados, que podem variar de poucos kbytes até vários terabytes de tamanho, estão armazenados nos mais diversos formatos (txt, csv, binários, json, xml, etc.) e são acessados diretamente via arquivos ou via banco de dados. Essa grande quantidade de dados, por vezes, dificulta a sua análise e sua observação por parte dos usuários. Para auxiliar os usuários nesta tarefa, surgiram sistemas (aplicações Web ou desktop, ferramentas ou bibliotecas) de visualização com o intuito de permitir que usuários não especialistas manipulem, analisem e visualizem os dados climáticos e ambientais existentes de forma mais amigável.

Para suprir restrições de visualização de dados climáticos da plataforma Projeta [Hölblig et al. 2018] do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e da necessidade de disponibilizar aos usuários do pacote EtaModelCC [Dezordi et al. 2018] uma maneira simplificada de visualização aos dados do Projeta, surgiu a ideia de desenvolver uma aplicação Web utilizando a linguagem R [R Core Team 2021] e o pacote shiny [Chang et al. 2021] chamada de “Projeta Visual”. Esta aplicação possibilita o acesso e consequente visualização dos dados climáticos do Projeta de maneira simples e intuitiva aos usuários e foi incorporada ao pacote EtaModelCC, funcionando como uma nova função do pacote. Dentro da comunidade R, uma aplicação Web implementada usando os recursos do pacote shiny é comumente chamada de “app shiny”.

Na seção 2 é apresentada uma breve descrição da plataforma Projeta e das ferramentas computacionais que foram utilizadas ou acessadas pelo Projeta Visual. Na seção 3 são descritos algumas aplicações que possuem características semelhantes, em termos de visualização, do Projeta Visual e alguns sites, repositórios ou plataformas computacionais que disponibilizam dados ambientais e climáticos. Na seção 4 é descrita a arquitetura, as características e as funcionalidades do Projeta Visual. Por fim, na seção 5 são apresentadas as conclusões desta pesquisa e as possibilidades de trabalhos futuros.

## 2. Referencial teórico

O Projeta Visual é uma aplicação Web, incorporada ao pacote EtaModelCC, implementada na linguagem R e utilizando recursos do pacote shiny, com o intuito de ser uma ferramenta voltada à visualização de dados de projeções de mudança do clima para a América do Sul, regionalizadas pelo modelo numérico de previsão de tempo Eta [Mesinger et al. 2012] e disponibilizados pela plataforma Projeta do CPTEC/INPE.

O modelo Eta possui como objetivo a previsão de fenômenos atmosféricos usados para pesquisas e decisões operacionais. No Brasil, o modelo Eta é utilizado no CPTEC/INPE em forma operacional, abrangendo a América do Sul, desde 1997 para previsões meteorológicas e, desde 2002, para previsões do estado do tempo [Chou et al. 2014].

A plataforma PROJETA (Projeções Climáticas Regionalizadas pelo Modelo Eta) [Hölbig et al. 2018] tem como principal objetivo automatizar o acesso ao conjunto de dados dos cenários de mudanças climáticas, referentes a projeções baseadas em modelos, gerados pelo CPTEC/INPE. A plataforma reduz o tempo de espera do usuário para ter acesso a esses dados, pois o processo de tratamento e conversão de dados que antes era feito de forma complexa e manual, agora é automatizado utilizando a plataforma Web ou via *Application Programming Interface* (API). Os dados de previsões climáticas abrangem 38 variáveis para um período histórico e futuro entre os anos de 1960 a 2100. Pela plataforma, o usuário pode acessar os dados das previsões climáticas em determinadas frequências (horária, diária, mensal ou anual) para regiões que abrangem a América do Sul. Esses dados podem ser gerados em diferentes formatos como, por exemplo, CSV, JSON, XML, Geotiff e binário. A plataforma Projeta, em sua versão atual, não possibilita a visualização dos dados climáticos, somente o acesso aos dados brutos.

O pacote EtaModelCC [Dezordi et al. 2018] foi implementado na linguagem R e criado com o objetivo de facilitar o acesso aos dados de mudanças climáticas disponibilizados pela plataforma Projeta. Seu objetivo foi o de possibilitar que os usuários da linguagem R operem diretamente esses dados em seus sistemas e simulações, além de oferecer algumas funções para geração de gráficos e de mapas com base nos dados acessados do Projeta.

A linguagem R [R Core Team 2021] foi criada na década de 1990 e visava, inicialmente, ser uma ferramenta para cálculos estatísticos. Com seu aprimoramento ao passar dos anos, tornou-se uma linguagem de uso geral, muito devido à incorporação de pacotes (bibliotecas) para as mais diversas funcionalidades e aplicações. Atualmente é uma linguagem muito utilizada na implementação de soluções em Ciência de Dados devido as suas funcionalidades estatísticas e de manipulação e de visualização de dados. A linguagem R fornece aos seus usuários uma grande variedade de pacotes que estendem as suas funcionalidades [Leisch 2009].

O pacote shiny [Chang et al. 2021] é um *framework* para o desenvolvimento de aplicações Web no R, especialmente *dashboards*, trabalhando em conjunto com rotinas em CSS e em Javascript.

### **3. Trabalhos relacionados**

Para o desenvolvimento do Projeta Visual foram utilizados como referência outras aplicações Web desenvolvidas em R/shiny e repositórios internacionais de dados ambientais e climáticos, os quais serviram de orientação para a identificação das características adequadas que deveriam ser implementadas no Projeta Visual.

Bibliometrix é uma ferramenta *open source*, desenvolvida em R, para pesquisa quantitativa e bibliometria. Ela obtém dados das principais bases de dados bibliográficas

como SCOPUS, WoS (Clarivate Analytics Web of Science) e a CDRS (Cochrane Database of Systematic Reviews). Possui três fases principais de análise: importação e conversão, análise bibliométrica e construção de matrizes. Na sua versão 2.0 foi introduzido o Biblioshiny, uma aplicação Web em shiny desenvolvida para facilitar o uso do Bibliometrix para usuários que não tem conhecimento no desenvolvimento de códigos ou na linguagem R [Aria and Cuccurullo 2017].

Esquisse é uma ferramenta *open source* para exploração de dados utilizando o pacote R de visualização ggplot2 [Wickham 2016]. Com ela é possível criar gráficos interativos sem a necessidade de saber escrever códigos em R, bastando o usuário selecionar e/ou arrastar sua base de dados e escolher as opções desejadas e o tipo de gráfico que será criado na tela [Meyer and Perrier 2021].

O German Climate Atlas [DWD 2020] é administrado e desenvolvido pelo Deutscher Wetterdienst e apresenta possíveis cenários climáticos futuros juntamente com informações sobre o clima de hoje e do passado. O sistema German Climate Atlas oferece uma interface Web desenvolvida utilizando a tecnologia node.js (interpretador de JavaScript assíncrono com código aberto orientado a eventos).

A National Aeronautics and Space Administration (NASA) desenvolve pesquisas e trabalhos em diversas áreas do conhecimento, dentre elas o estudo de ciências da terra, tendo como objetivo observar, compreender e modelar o sistema terrestre para avaliar e prever as mudanças que estão ocorrendo no planeta e, dessa forma, pode-se compreender as consequências das mudanças para a vida na terra [NASA 2020, Westberg et al. 2015]. O projeto *Prediction Of Worldwide Energy Resources* (POWER) foi criado para disponibilizar conjunto de dados meteorológicos e solares voltados para as áreas agrícolas e de energia renovável.

Copernicus [Copernicus 2020] é o programa de observação da European Union's Earth, administrado pela Comissão Europeia em parceria com a Agência Espacial Europeia (ESA), os Estados-Membros da União Europeia (UE) e as agências da UE. Uma das formas de se obter os dados do projeto Copernicus é por meio do *Toolbox* da Climate Data Store (CDS) [Copernicus 2020a]. Gratuito e disponível ao público, o *Toolbox* vincula dados brutos ao poder da computação online por meio de uma interface de programação. De forma online é possível criar aplicativos na linguagem de programação Python e executá-los nos computadores da CDS, permitindo a recuperação dos dados conforme o interesse do usuário. O *Toolbox* é dividido em quatro partes: *Documentation*, onde são disponibilizadas as informações e os materiais do *Toolbox*; *Toolbox Editor*, sendo este a parte em qual o usuário define o código que será executado conforme sua necessidade; API, na qual são apresentados os conjuntos e padrões de programação usados; *Application gallery*, parte em que é disponibilizada uma galeria de imagens geradas por meio do *Toolbox Editor*.

O Climate Explorer é um aplicativo Web que tem como objetivo fornecer a visualização de dados climáticos. Contém mais de 10TB de dados climáticos e dezenas de ferramentas de análise. Faz parte do WMO Regional Climate Centres no Instituto Real de Meteorologia dos Países Baixos [KNMI 2020]. É uma ferramenta científica que permite que os usuários determinem os filtros de acordo com suas necessidades. Os

dados observacionais são atualizados mensalmente, parte dos dados diários é atualizada todos os dias.

As ferramentas e os sites descritos nesta seção serviram para identificar aspectos importantes que foram implementados no Projeta Visual e disponibilizados aos seus usuários: abrangência dos dados climáticos, forma de seleção dos dados climáticos, formas de visualização dos dados e download das visualizações geradas, conforme pode ser constatado na Tabela 1, onde é realizada a comparação deles com o Projeta Visual.

**Tabela 1. Análise comparativa entre os trabalhos relacionados e o Projeta Visual**

Ferramentas / Sites (ferramenta ou site)	Abrangência dos dados climáticos	Forma de seleção dos dados climáticos	Formas de visualização dos dados	Download das visualizações geradas
Bibliometrix (R / shiny / javascript)	Não se aplica	Não se aplica	Gráficos, mapas e tabelas	Sim
Esquise (R / shiny / javascript)	Não se aplica	Não se aplica	Gráficos e mapas	Sim
German Climate Data (site)	Regional	Coordenada geográfica, cidade, estado e área	Gráficos e mapas	Sim
NASA Power (site e pacote R)	Global	Coordenada geográfica, área ou global	Gráficos, mapas e tabelas	Sim
Copernicus (site e scripts Python)	Global	Coordenada geográfica, país e área	Gráficos e mapas	Sim
Climate Explorer (site)	Regional	Estado, cidade ou código postal	Gráficos, mapas e tabelas	Sim
Projeta (site)	Regional	Coordenada geográfica e área	Não possui	Não possui
Projeta Visual (R / shiny / javascript)	Regional	Coordenada geográfica, cidade, área, estado e por shapefile	Gráficos, mapas e tabelas	Sim

Nesta comparação constata-se a contribuição principal desta pesquisa, a de disponibilizar uma ferramenta de visualização em R, integrada ao pacote EtaModelCC, para visualizar os dados da plataforma Projeta. O fato do Projeta Visual ser implementado em R deve-se a vantagens de se usar rotinas e funções de acesso aos dados do Projeta já disponíveis em R por meio do EtaModelCC. O público-alvo deste projeto são todos os usuários de áreas que necessitem de dados meteorológicos em suas aplicações.

#### 4. Projeta Visual: aplicativo Web para visualização de dados climáticos

O Projeta Visual é um aplicativo Web, integrado ao pacote EtaModelCC, que visa facilitar o acesso aos dados climáticos da plataforma Projeta. Suas principais funcionalidades, relacionadas a manipulação e visualização dos dados climáticos, são:

- Seleção de pontos ou áreas geográficas por diferentes meios, como coordenadas geográficas, nome de cidade, área via o desenho de um polígono ou pelo uso de um arquivo em formato shapefile;
- Requisição dos dados climáticos, com diferentes tipos de opções: cenário climático (modelo que gerou a previsão), variável, frequência e período (que varia de acordo com a frequência e com o cenário climático);
- Visualização dos dados solicitados por meio de gráfico, tabela ou mapa;
- Download dos dados solicitados em formato csv e dos gráficos e dos mapas gerados em formato png.

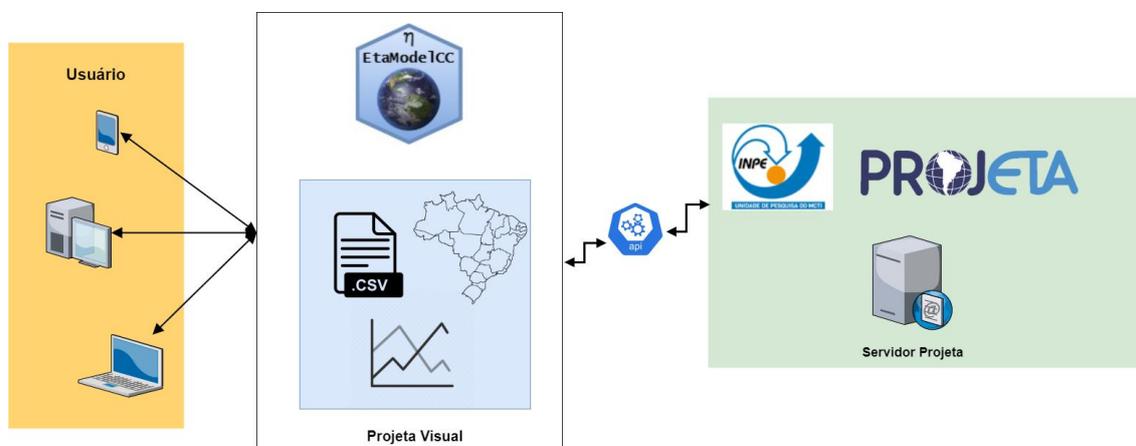
A aplicação foi desenvolvida em R e utilizando recursos do shiny. O shiny permite aplicar folhas de estilo CSS (*Cascading Style Sheets*), usadas no layout, e ações em JavaScript, responsáveis por implementar funcionalidades em aplicações, sendo elas aplicadas na tela inicial da aplicação.

Outro ponto que se destaca é que o pacote shiny permite o desenvolvimento multiplataforma e Web e, utilizando o design responsivo, é possível acessar a aplicação em qualquer navegador ou dispositivo como computadores, tablets e smartphones.

Para o desenvolvimento do Projeta Visual foram utilizados, também, os pacotes descritos na Tabela 2.

##### 4.1 Arquitetura da aplicação

O Projeta Visual, conforme apresentado na Figura 1, é um dos serviços (funções) disponibilizados pelo pacote EtaModelCC fazendo, inclusive, uso de outras funções do próprio pacote para o acesso aos dados e para a geração de seus resultados.



**Figura 1. Arquitetura do Projeta Visual, integrado ao pacote EtaModelCC, e sua comunicação com o servidor do Projeta do CPTEC/INPE.**

**Tabela 2. Pacotes R usados no desenvolvimento do Projeta Visual**

Pacotes	Descrição do uso
config	Gerencia valores de configuração específicos do ambiente (desenvolvimento, teste, produção).
dplyr	Auxilia na manipulação de dados.
DT	Interface R para a biblioteca DataTables do JavaScript. Permite que os objetos do R possam ser exibidos como tabelas HTML, também oferece filtragem, paginação e etc.
EtaModelCC	Usado para acessar dados de mudanças climáticas do Projeta, possui funções que permitem visualização dos dados por meio de gráficos, diagramas e mapas.
ggplot2	Usado para a criação de gráficos.
jsonlite	Um analisador e gerador JSON otimizado para dados estatísticos e para a Web, oferecendo ferramentas simples e flexíveis para trabalhar com JSON em R.
leaflet	É uma biblioteca javascript <i>open source</i> desenvolvida por Agafonkin (2010). Ela é utilizada para criação de mapas interativos com foco em desempenho, simplicidade e usabilidade [Cheng et al. 2019]. A versão para R foi desenvolvida para facilitar a integração e uso desta ferramenta em aplicações que utilizam a linguagem R como base.
leaflet.extras	Complemento do pacote leaflet.
lubridate	Funções para trabalhar com datas e períodos de tempo.
mapview	Fornecer funções para criar visualizações interativas de dados espaciais com integração com mapas gerados pelo leaflet.
shiny	Usado para criar a aplicação Web no R.
shinyAce	Para permitir a criação de um campo de edição de texto dentro do shiny.
shinyalert	Usado para criação de mensagens no shiny.
shinyBS	Adiciona componentes adicionais do bootstrap ao shiny.
shinycssloaders	Usado para adicionar uma animação de espera enquanto uma saída (como um gráfico, tabela, mapa, etc.) é recalculada.
shinydashboard	Usado na criação de painéis no Shiny.
shinyFiles	Fornecer funcionalidades para a seleção dos arquivos em aplicações shiny.
shinyjs	Permite o uso de operações comuns do JavaScript em aplicativos shiny.
shinyWidgets	Personaliza os componentes de interface de usuário em aplicações shiny.

A partir das configurações definidas pelo usuário, a aplicação, via funções do EtaModelCC, comunica-se com o servidor do Projeta do CPTEC/INPE, por meio de uma API, o qual retorna os dados climáticos da coordenada geográfica ou da área solicitada, apresentando estes resultados na tela do usuário em forma de uma tabela, de um gráfico ou de um mapa.

## 4.2 Funcionalidades do sistema

O Projeta Visual pode ser executado através da função `ProjetaVisual()` do pacote EtaModelCC. Ao executá-lo, o usuário irá ver três abas principais: aba “Welcome” onde é explicado o que é a aplicação, a aba “Explore Data” que concentra as funcionalidades principais da aplicação (é onde podem ser realizadas as consultas) e a aba “About”, que fala sobre a plataforma Projeta, sobre os “Models”, que são os cenários climáticos gerados pelo modelo Eta e os “RCPs” (*Representative Concentration Pathways*), que são cenários de concentração média de dióxido de carbono na atmosfera.

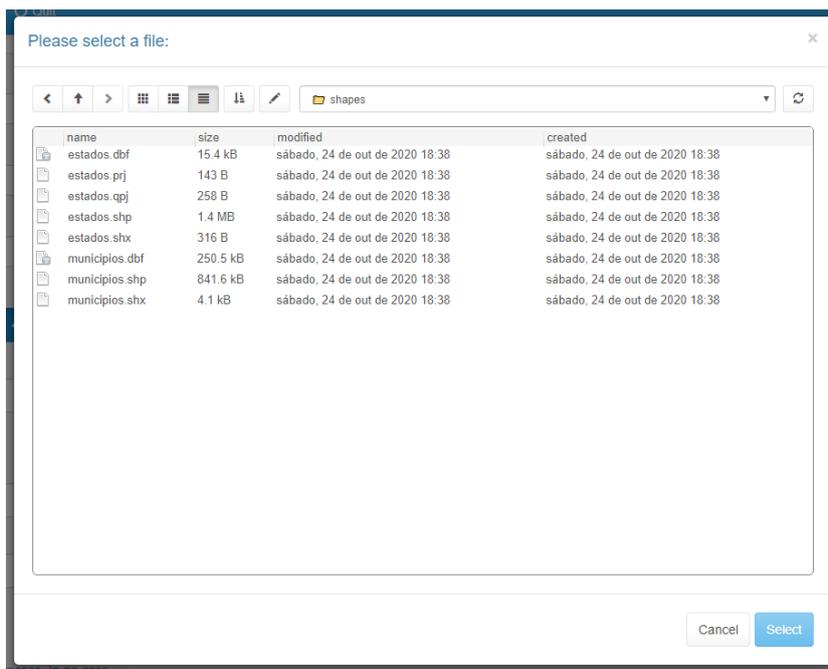
Na aba “Explore Data”, que pode ser vista na Figura 2, o usuário pode fazer as consultas climáticas e, para isso, existem três variáveis fixas: “Climate Scenary” (cenário climático), “Variable” (variáveis geradas pelo modelo) e “Frequency” (frequência dos dados). As frequências podem ser relatadas a cada 3 horas (“Hourly”), diariamente (“Daily”), mensalmente (“Monthly”) ou anualmente (“Yearly”). Todas as variáveis são recebidas, por meio de API, do servidor do Projeta no INPE e disponibilizadas para o usuário em uma lista para selecionar o que desejar. Após isso, é possível escolher uma das quatro opções de consulta, que são “Coordinate”, “City”, “Polygon” e “Shapefile”. As consultas utilizam funções do pacote EtaModelCC que retornam os dados para o usuário em formato de uma lista (estrutura composta de vários objetos) do R.

	Date	Value
1	2006	15.1026306152344
2	2007	15.7372426986694
3	2008	15.5500679016113
4	2009	16.1214752197266
5	2010	15.5250234603882
6	2011	15.9087476730347
7	2012	16.0213642120361
8	2013	15.5427703857422
9	2014	16.1496963500977
10	2015	15.5322017669678

**Figura 2. A aba “Explore Data” do Projeta Visual é responsável por disponibilizar ao usuário as opções de configuração de sua requisição de dados climáticos.**



Na opção “*Shapefile*”, o usuário também escolhe um ano específico para a consulta e seleciona um arquivo shapefile (arquivo em formato vetorial utilizado por Sistemas de Informações Geográficas (SIG), contendo dados geoespaciais) em seu sistema (Figura 4). Após selecionar o arquivo, a aplicação armazena o nome do arquivo o nome e o caminho do arquivo e as quatro coordenadas geográficas limites da área, que são obtidas em um campo do arquivo shapefile chamado “bbox”, as quais mostradas na tela, juntamente com um mapa gerado para a confirmação da localização. Por fim, a aplicação retorna uma tabela com os dados climáticos referentes a área solicitada.



**Figura 4. Seleção de arquivos do método “Shapefile”.**

Em todas as saídas geradas na aba “*Dataset*”, como o exemplo representado na Figura 5, o usuário pode realizar o download dos dados no formato csv.

Dataset Plot Map

Show 10 entries Search:

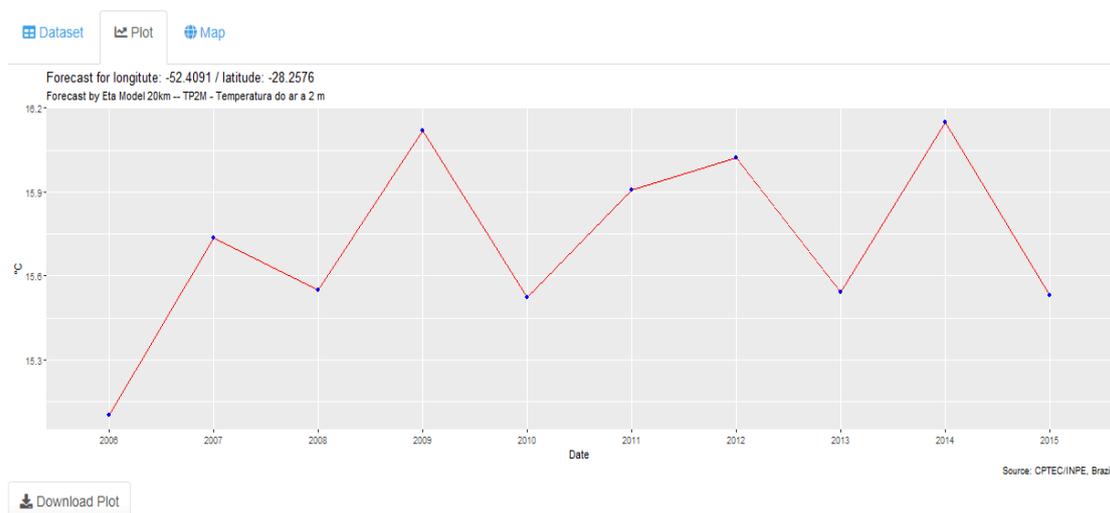
	Date	Value
1	2006	15.1026306152344
2	2007	15.7372426986694
3	2008	15.5500679016113
4	2009	16.1214752197266
5	2010	15.5250234603882
6	2011	15.9087476730347
7	2012	16.0213642120361
8	2013	15.5427703857422
9	2014	16.1496963500977
10	2015	15.5322017669678

Showing 1 to 10 of 10 entries Previous 1 Next

Download csv

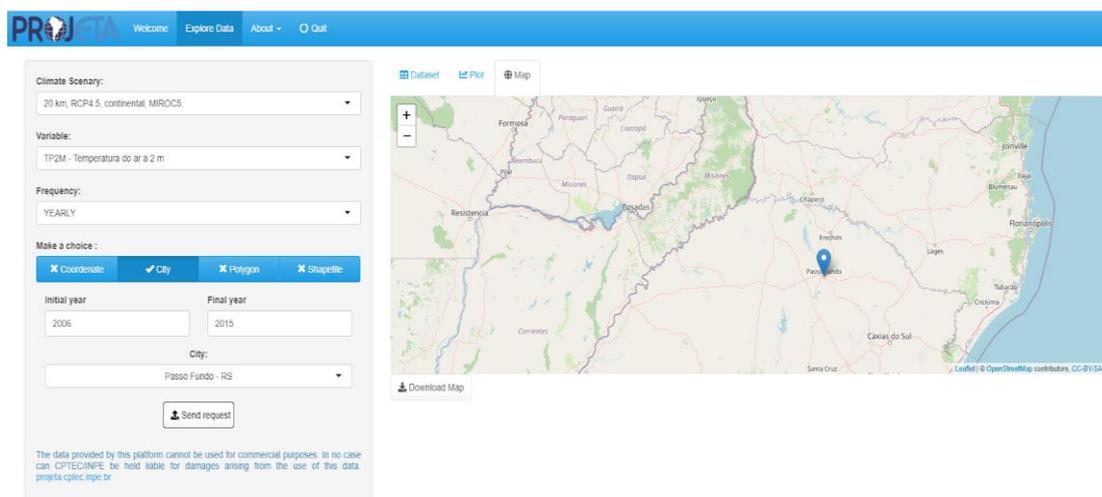
**Figura 5. Exemplo de visualização dos dados (dataset) para Passo Fundo - RS, do ano de 2006 a 2015.**

Já o gráfico (Figura 6) é gerado utilizando o pacote ggplot2, utilizando o intervalo de datas escolhido pelo usuário no eixo x, e a variável (temperatura do ar a 2m, no exemplo) no eixo y. O usuário pode realizar o download da imagem do gráfico em formato png.



**Figura 6. Visualização do gráfico para a cidade de Passo Fundo - RS, do ano de 2006 a 2015.**

O mapa (Figura 7) é gerado utilizando o pacote leaflet do R, e serve principalmente para confirmação da localização escolhida pelo usuário, principalmente nos métodos de requisição que utilizam coordenadas e área, pois é possível visualizar no mapa exatamente onde estão essas coordenadas ou áreas.



**Figura 7. Mapa para confirmação do local escolhido, onde suas coordenadas geográficas serão utilizadas para a realização da requisição dos dados climáticos ao servidor do CPTEC/INPE por meio do pacote EtaModelCC.**

## 5. Conclusões e Trabalhos Futuros

O objetivo principal para o desenvolvimento do Projeta Visual foi facilitar o uso do pacote EtaModelCC para usuários sem conhecimento em linguagem R e de fornecer aos usuários da plataforma Projeta uma opção para a visualização dos dados disponíveis na base de dados Projeta do CPTEC/INPE. Com o desenvolvimento do aplicativo, a interface apresentou várias alternativas para simplificar o uso das funções do pacote EtaModelCC, permitindo que usuários sem conhecimento em R consigam realizar requisições e ter acessos aos dados climáticos facilmente e de forma ágil.

O Projeta Visual foi desenvolvido utilizando tecnologias muito conhecidas no meio científico, como a linguagem R e o pacote shiny, as quais foram escolhidas para desenvolver esse projeto por se integrarem de maneira completa com o pacote EtaModelCC, também desenvolvido em R.

Para os trabalhos futuros, o Projeta Visual deverá evoluir com novas funcionalidades visuais, principalmente no oferecimento de novos gráficos e mapas que possibilitem aos usuários não só visualizar dados de uma determinada variável, mas, também, realizar visualizações que apresentem tendências ou comparações climáticas entre períodos (anos ou décadas).

## Referências

- Agafonkin, V. (2010) “Leaflet: an open-source JavaScript library for mobile-friendly interactive maps”. Disponível em <https://leafletjs.com/>. Acesso em Dezembro/2020.
- Alder, J. and Hostetler, S. (2015) “Web based visualization of large climate data sets”, *Environmental Modelling & Software*, Elsevier, v.68, p.175-180. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.02.016>.
- Aria, M. and Cuccurullo, C. (2017) “bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis”, *Journal of Informetrics*, Elsevier, v.11, n.4, p.959-975. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.
- Brooking, C. and Hunter, J. (2013) “Providing online access to hydrological model simulations through interactive geospatial animations”, *Environmental Modelling & Software*, Elsevier, v.43, p.163-168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.01.011>.
- Chang, W., Cheng, J., Allaire, J.J., Sievert, C., Schloerke, B., Xie, Y., Allen, J., McPherson, J., Dipert, A. and Borges, B. (2021) “shiny: Web Application Framework for R”, R package version 1.6.0. Disponível em <https://CRAN.R-project.org/package=shiny>. Acesso em Julho/2021.
- Cheng, J., Karambelkar, B. and Xie, Y. (2019) “leaflet: Create Interactive Web Maps with the JavaScript 'Leaflet' Library”, R package version 2.0.3. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=leaflet>. Acesso em: Outubro/2020.
- Copernicus (2020) “Copernicus: European Union's Earth Observation Programme”. Disponível em: <https://www.copernicus.eu/en/>. Acesso em: Novembro/2020.

- Copernicus (2020a) “Copernicus Climate Change Service”. Disponível em: <https://cds.climate.copernicus.eu>. Acesso em: Nov. 2020.
- Dezordi, M. L., Hölbig, C. A., Pavan, W. and Fernandes, J. M. C. (2018) “An R package to access climate change data for South America regionalized by the Eta Model of CPTEC/INPE”, In: Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais (WCAMA\_CSBC), 9., 2018, Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Computação. DOI: <https://doi.org/10.5753/wcama.2018.2934>.
- DWD (2020) “German Climate Atlas”. Disponível em: <https://www.dwd.de/EN>. Acesso em: Outubro/2020.
- Fraley, C., Raftery, A.E. and Gneiting, T. (2011) “Probabilistic weather forecasting in R”, The R, v.3, n.1, p. 55–63. Disponível em: <https://journal.r-project.org/archive/2011/RJ-2011-009/RJ-2011-009.pdf>. Acesso em: Julho/2021.
- Hallgren, W. et al. (2016) “The Biodiversity and Climate Change Virtual Laboratory: Whereecology meets big data”, Environmental Modelling & Software, Elsevier, v.76, p.182-186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.10.025>.
- Hölbig, C. A., Mazzonetto, A., Borella, F., Pavan, W., Fernandes, J. M. C., Chagas, D. J., Gomes, J. L. and Chou, S. C. (2018) “PROJETA platform: accessing high resolution climate change projections over Central and South America using the Eta model”, Agrometeoros, v.26, n.1, p.71-81. DOI: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v26i1.26366>.
- KNMI (2020) “KNMI Climate Explorer”. Disponível em: <https://climexp.knmi.nl/>. Acesso em: Novembro/2020.
- Leisch, F. (2009) “Creating R Packages: A Tutorial”, R Development Core Team, Department of Statistics, Universität München, Munique, Alemanha. Disponível em: <https://cran.r-project.org/doc/contrib/Leisch-CreatingPackages.pdf>. Acesso em: Julho/2021.
- Mesinger, F., Chou, S.C., Gomes, J.L. et al. (2012) “An upgraded version of the Eta model”, Meteorol Atmos Phys, v.116, p.63–79. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00703-012-0182-z>.
- Meyer, F. and Perrier, V. (2021) “Esquisse”, R package version 1.0.2. Disponível em <https://github.com/dreamRs/esquisse>. Acesso em: Julho/2021.
- NASA (2020) “NASA Prediction of Worldwide Energy Resources”. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov>. Acesso em: Outubro/2020.
- R Core Team (2021) “R: A language and environment for statistical computing”, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: Julho/2021.
- Sriharan, S., Everitt, J. H. and Fletcher, R. (2008) “Geographic information system (GIS) and remote sensing (RS): undergraduate academic curriculum and precollege training program”, International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), IEEE, v.3, n.1, p.III-1421-III-1424. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2008.4779628>.

- Westberg, D. J., Stackhouse Jr., P. W., Hoell, J. M., Chandler, W. S. and Zhang, T. (2015) “NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER): Development of Thirty Plus Years of Satellite-Derived Solar Insolation and Meteorological Parameters for Global Applications”, 95th American Meteorological Society Annual Meeting, January 4-8, Phoenix, Arizona. Disponível em: <https://ams.confex.com/ams/95Annual/webprogram/Paper268478.html>. Acesso em: Julho/2021.
- Wickham, H. (2016) “ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis”, Springer-Verlag, New York.