



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

–DOUTORADO –

**METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO DE
RESERVATÓRIOS PARA ARMAZENAMENTO DE ÁGUA
DE CHUVA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NO
BRASIL**

Por

Cinthyia Santos da Silva

*Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para
obtenção do grau de Doutor*

João Pessoa – Paraíba

Junho 2023



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

–DOUTORADO –

**METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO DE
RESERVATÓRIOS PARA ARMAZENAMENTO DE ÁGUA
DE CHUVA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NO
BRASIL**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil e Ambiental da
Universidade Federal da Paraíba, como parte dos
requisitos para a obtenção do título de Doutor.

Cinthya Santos da Silva

Orientador: Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior

Co-orientador: Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586m Silva, Cinthya Santos da.

Metodologia de dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água de chuva em edificações residenciais no Brasil / Cinthya Santos da Silva. - João Pessoa, 2023.
201 f.

Orientação: Gilson Barbosa Athayde Júnior.
Coorientação: Cristiano das Neves Almeida.
Tese (Doutorado) - UFPB/CT.

1. Reservatórios - Otimização. 2. Água de chuva. 3. Chuva em edificações residenciais. I. Athayde Júnior, Gilson Barbosa. II. Almeida, Cristiano das Neves. III. Título.

UFPB/BC

CDU 627.81(043)



PPGECAM
Programa de Pós-Graduação
Engenharia Civil e Ambiental
UFPB Universidade Federal da Paraíba
Mestrado e Doutorado

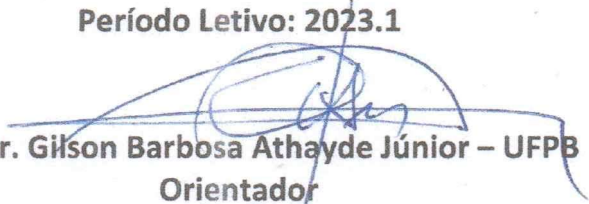


**METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA
ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NO
BRASIL**

CINTHYA SANTOS DA SILVA

Tese aprovada em 23 de junho de 2023.

Período Letivo: 2023.1

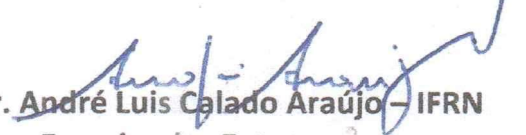

Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior – UFPB
Orientador


Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida - UFPB
Coorientador


Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva – UFPB
Examinador Interno


Prof. Dr. Gerald Norbert Souza da Silva – UFPB
Examinador Interno


Prof. Dr. Marcio Ricardo Salla – UFU
Examinador Externo


Prof. Dr. André Luis Calado Araújo – IFRN
Examinador Externo

João Pessoa/PB
2023

*“À todos que vieram antes de mim e que
tornaram o presente possível”*

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, **Severina e Antônio**, pelo apoio incondicional me dando suporte, incentivando e acreditando em mim. A fé de vocês nas minhas conquistas foi minha maior força.

Agradeço imensamente aos meus professores orientadores, ao professor orientador **Dr. Gilson Barbosa Athayde**, pela disponibilidade, incentivo, e partilha de conhecimentos. Sem os seus direcionamentos sobre quando poderia fazer mais ou menos, esse trabalho não chegaria aonde chegou. Ao professor **Dr. Cristiano das Neves Almeida**, por todas as sugestões e correções que ajudaram na construção desse trabalho.

Agradeço ainda aos membros da banca: **Dr. Tarciso Cabral da Silva** e **Dr. Márcio Ricardo Salla**, pesquisadores que, com as sugestões e questionamentos feitos na qualificação, me auxiliaram na lapidação desse estudo, e aos professores **Dr. Gerald Norbert Souza da Silva** e **Dr. André Luis Calado Araújo** pela disponibilidade em participar desta banca.

Agradeço aos tantos amigos que sempre estiveram disponíveis para conselhos, desabafos e incentivos. Ao meu amigo **Robson Arruda**, a pessoa a quem recorro frequentemente quando preciso de uma opinião e que sempre dá bons conselhos.

Às minhas amigas **Cinthia, Vanine** e **Ana Luzia**, por tornarem dias mais difíceis mais fáceis, ouvindo meus desabafos, compartilhando conhecimentos e me convidando para comer bolo com café.

Agradeço ainda à **Diogo Nascimento**, que me ajudou a enxergar as coisas, inclusive este trabalho, com mais simplicidade e leveza.

Agradeço a todos que de alguma forma fizeram parte da minha caminhada até aqui e que seria incapaz de listar individualmente, pois cada um de vocês contribuiu de maneira única e especial para a minha construção.

RESUMO

Silva, C. S. **Metodologia de dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água de chuva em edificações residenciais no Brasil**. 2023. 202p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2023.

A escassez de água afeta milhões de pessoas no mundo e expõe a população, principalmente a que já se encontra em situação de alta vulnerabilidade, a maiores riscos físicos e sociais. No Brasil, a disparidade regional existente na distribuição do recurso no país, torna primordial a busca de soluções alternativas de abastecimento que garantam água com qualidade nas proximidades das residências, com custo acessível, e fornecimento adaptado às condições e necessidades locais, a exemplo da água de chuva. A existência, porém, de numerosos métodos para dimensionamento do reservatório adiciona certa subjetividade ao cálculo do volume de armazenamento, o que pode levar à determinação de um valor de eficiência distante da realidade. Diante disto, este trabalho objetiva a proposição de uma nova metodologia para dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água de chuva em edificações residenciais, baseada nos valores ótimos dos Coeficientes de Eficiência Volumétrica (CEV), de Ociosidade Volumétrica (COV) e de Transbordamento Volumétrico (CTV), em território brasileiro, sendo os dois últimos inéditos. Para tanto, foram consideradas 3 metodologias de dimensionamento de reservatório, já existentes na literatura, em diferentes cenários de área de captação e demanda. Os coeficientes, baseados no volume do reservatório e nos volumes de água aproveitável, ocioso e transbordado, foram então calculados e seus valores ótimos extraídos. Foi desenvolvido, então, um algoritmo que permite a obtenção do método de dimensionamento de reservatório sugerido para qualquer ponto localizado no Brasil, considerados o coeficiente selecionado pelo usuário, a área e demanda fornecidos. A análise dos coeficientes permitiu concluir que, para o CEV, os valores ótimos foram alcançados predominantemente pelos menores reservatórios, com exceção nas localidades com maiores volumes precipitados anualmente e baixa variabilidade da chuva, onde mesmo grandes reservatórios, como os dimensionados pelos balanços hídricos, operariam com baixo tempo ocioso, levando a um alto volume de água aproveitável por m³ de reservatório. Com relação ao COV, os métodos que propiciaram os valores ótimos foram majoritariamente semelhantes aos que geraram CEVs ótimos. Valendo pontuar, entretanto, que diferenças foram observadas para a máxima demanda aqui considerada, 600L/dia. Para o CTV, o método que apresentou melhores valores, prevalentemente para demandas a partir de 200L/dia, foi o método de *Rippl* com dados diários, sendo seus melhores resultados mais expressivos para a área de 100m², acima da qual tendeu a concentrar melhores resultados nas regiões com menor precipitação anual. A metodologia de dimensionamento de reservatórios aqui desenvolvida elimina a subjetividade na escolha do método de dimensionamento a ser aplicado, e simplifica a análise de viabilidade econômica, baseando o critério de dimensionamento de reservatórios nos CEV, COV e CTV. Surge, assim, como uma facilitação no desenvolvimento de projetos de reservatórios para armazenamento de água de chuva, principalmente em localidades onde há escassez de dados de precipitação, visto que em algumas localidades os valores ótimos podem ser alcançados por métodos baseados na precipitação média anual ou mensal, além de ser uma metodologia fundamentada em coeficientes quantitativos e comparáveis entre si.

Palavras-chave: Água de chuva, Otimização de reservatórios, CEV, COV, CTV.

ABSTRACT

Silva, C. S. **Reservoir sizing methodology for rainwater storage in residential buildings in Brazil.** 2023. 202p. Thesis (Ph.D. in Civil and Environmental Engineering), Federal University of Paraíba, João Pessoa, 2023.

Water scarcity affects millions of people worldwide and exposes the population, especially those already in a situation of high vulnerability, to greater physical and social risks. In Brazil, the regional disparity in the distribution of the resource in the country makes it essential to seek alternative supply solutions that guarantee quality water near homes, with affordable cost, and supply adapted to local conditions and needs, such as rainwater. However, the existence of numerous methods for sizing the reservoir adds some subjectivity to the calculation of the storage volume, which can lead to the determination of an efficiency value far from reality. Therefore, this work aims to propose a new methodology for sizing rainwater storage reservoirs in residential buildings, based on the optimal values of Volumetric Efficiency Coefficient (VEC), Volumetric Idleness Coefficient (VIC), and Volumetric Overflow Coefficient (VOC) in Brazilian territory, with the latter two being new. Therefore, three reservoir sizing methodologies that already exist in the literature were considered, in different scenarios of catchment area and demand. The coefficients, based on the reservoir volume and the volumes of usable, idle, and overflow water, were then calculated, and their optimal values were extracted. An algorithm was developed, which allows obtaining the suggested reservoir sizing methodology for any point located in Brazil, considering the coefficient selected by the user, the area and demand provided. The analysis of the coefficients allowed us to conclude that, for the VEC, optimal values were predominantly achieved by smaller reservoirs, with the exception of locations with higher annual precipitation volumes and low rainfall variability, where even large reservoirs, such as those sized by water balance, would operate with low idle time, leading to a high volume of usable water per m³ of reservoir. Regarding the VIC, the methods that provided the optimal values were predominantly similar to those that generated optimal VECs. However, it is worth noting that differences were observed for the maximum demand considered here, 600L/day. For VOC, the method that presented better values, predominantly for demands from 200L/day, was the *Rippl* method with daily data, and its best results were more significant for the area of 100m², above which it tended to concentrate better results in regions with lower annual precipitation. The reservoir sizing methodology developed here eliminates subjectivity in the choice of sizing method to be applied and simplifies the analysis of economic feasibility, based on the sizing criterion of reservoirs in VEC, VIC, and VOC. Therefore, it emerges as a facilitation in the development of rainwater harvesting reservoir projects, especially in locations where there is a scarcity of precipitation data, since in some places optimal values can be achieved by methods based on average annual or monthly precipitation. Furthermore, it is a methodology based on quantitative and comparable coefficients.

Keywords: Rainwater, Optimization of reservoirs, VEC, VIC, VOC.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE QUADROS E TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	21
Objetivo geral	21
Objetivos específicos	21
3. REFERENCIAL TEÓRICO	22
3.1. Disponibilidade de água no mundo	22
3.2. Sistemas de captação e armazenamento de água de chuva	26
3.2.1. Métodos de dimensionamento de reservatórios	29
3.3. Eficiências de sistemas de captação e armazenamento de água de chuva	34
4. MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1. Dados pluviométricos	40
4.2. Dimensionamento do reservatório e variáveis de entrada	41
4.3. Cálculo do volume de água aproveitável	43
4.4. Cálculo dos coeficientes	44
4.5.1. Coeficiente de Eficiência Volumétrica (CEV)	44
4.5.2. Coeficiente de Ociosidade Volumétrica (COV)	45
4.5.3. Coeficiente de Transbordamento Volumétrico (CTV)	45
4.6. Metodologia para dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água de chuva	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1. Volume do reservatório	49
5.2. Volume de água aproveitável	60
5.3. Coeficiente de Eficiência Volumétrica (CEV)	66
5.4. Coeficiente de Ociosidade Volumétrica (COV)	80
5.5. Coeficiente de Transbordamento Volumétrico (CTV)	93
5.6. Dimensionamento de reservatórios baseado nos coeficientes	99
6. CONCLUSÕES	102

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
APÊNDICE A	111
APÊNDICE B	187
APÊNDICE C	199

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Número de famílias mobilizadas e causas de conflitos pela água (2009-2019).	24
Figura 2 – Mulher transportando água.	24
Figura 3 – Sistema de captação e armazenamento de água da chuva.	27
Figura 4 – Cisterna-Calçadão.	27
Figura 5 – Área de estudo com representação da precipitação para o dia 02 de janeiro de 1980, conforme disponibilizada em base online..	41
Figura 6 – Metodologias consideradas para dimensionamento do reservatório.	41
Figura 7 – Variáveis de entrada consideradas para dimensionamento do reservatório.	43
Figura 8 – Volumes considerados para cálculo do COV..	45
Figura 9 – Interface do usuário de algoritmo para obtenção de método para dimensionamento de reservatório para armazenamento de água de chuva baseado nos coeficientes CEV, COV e CTV.....	47
Figura 10 – Algoritmo da metodologia para dimensionamento do baseada nos CEV, COV e CTV.....	47
Figura 11 – Etapas metodológicas para desenvolvimento do trabalho..	48
Figura 12 – Precipitação média anual e desvio padrão para o período de análise entre 01/01/1980 e 31/12/2016.....	49
Figura 13 – Mapa com volumes de reservatórios dimensionados pelo método prático Inglês para demanda de 100L/dia com representação de linha na latitude -7,125, e volumes dos reservatórios dimensionados para todos os cenários pelo referido método ao longo desta latitude.....	50
Figura 14 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método Prático Inglês para demanda de 300L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente..	51
Figura 15 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método Azevedo Neto, considerando limiar de mês seco baseado na média mensal de cada localidade, para demanda de 400L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente..	52
Figura 16 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método Azevedo Neto na latitude - 7,125, considerando limiar de mês seco o valor fixo de 210mm mensais, para demanda de 100L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente..	53
Figura 17 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método Azevedo Neto na latitude - 7,125, considerando limiar de mês seco baseado na média mensal de cada	

localidade, para demanda de 100L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	53
Figura 18 – Mapa com volumes de reservatórios dimensionados pelo método Azevedo Neto para demanda de 200L/dia e área de 100m ² com representação de linha na latitude -7,125, e volumes dos reservatórios dimensionados para todos os cenários pelo referido método ao longo desta latitude.	54
Figura 19 – Mapa com volumes de reservatórios dimensionados pelo método Azevedo Neto para demanda de 200L/dia e área de 100m ² com representação de linha na longitude -53,125, e volumes dos reservatórios dimensionados para todos os cenários pelo referido método ao longo desta longitude.	55
Figura 20 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método <i>Rippl</i> com dados em base mensal, para demanda de 400L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	56
Figura 21 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método <i>Rippl</i> , com dados em base mensal, na latitude -7,125, para todas as demandas e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	57
Figura 22 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método <i>Rippl</i> com dados em base diária, para demanda de 100L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	58
Figura 23 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método <i>Rippl</i> com dados em base diária, para demanda de 300L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	59
Figura 24 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método <i>Rippl</i> com dados em base diária na latitude -7,125, para demanda de 300L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	59
Figura 25 – Volumes aproveitáveis calculados para reservatórios dimensionados por todos os métodos aqui considerados, na latitude -7,125, para demanda de 100L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	61
Figura 26 – Volumes aproveitáveis calculados pelo método de <i>Rippl</i> com dados em base mensal, na latitude -7,125, para demandas de 100, 200, 300, 400, 500 e 600L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	62
Figura 27 – Volumes aproveitáveis calculados pelo método de <i>Rippl</i> com dados em base diária, na latitude -7,125, para demandas de 100, 200, 300, 400, 500 e 600L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	63

Figura 28 – Volumes aproveitáveis calculados pelo método Inglês, na latitude -7,125, para demandas de 100, 200, 300, 400, 500 e 600L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	64
Figura 29 – Volumes transbordados calculados pelo método Inglês, na latitude -7,125, para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	64
Figura 30 – Volumes aproveitáveis calculados pelo método Azevedo Neto, para mês seco como aquele onde precipitação média mensal < 210mm, para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	65
Figura 31 – Volumes aproveitáveis calculados pelo método Azevedo Neto, considerando limiar de mês seco baseado na média mensal de cada localidade, para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	66
Figura 32 – CEVs calculados para o método prático Inglês, na latitude -7,125, para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	67
Figura 33 – CEVs calculados para o método prático Azevedo Neto, com contabilização de mês seco baseado nas médias mensais da precipitação local, na latitude -7,125, para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	67
Figura 34 – CEVs calculados para o método prático Azevedo Neto, com contabilização de mês seco baseado no limiar de 210mm mensais, na latitude -7,125, para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	67
Figura 35 – CEVs calculados para o método de <i>Rippl</i> com dados diários, na latitude -7,125, para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	68
Figura 36 – CEVs calculados para o método de <i>Rippl</i> com dados diários, na latitude -7,125, para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	69
Figura 37 – CEVs calculados pelo método Azevedo Neto, considerando limiar de mês seco baseado de 210mm mensais para cada localidade, para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	70
Figura 38 – CEVs calculados pelo método Azevedo Neto, considerando limiar de mês seco baseado de 210mm mensais para cada localidade, para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	70
Figura 39 – CEVs calculados pelo método prático Inglês, para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	71

Figura 40 – CEVs calculados pelo método prático Inglês, para demanda de 600L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	72
Figura 41 – Método que resulta em CEVs máximo para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	73
Figura 42 – Método que resulta em CEV máximo para demanda de 200L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	75
Figura 43 – Método que resulta em CEV máximo para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	76
Figura 44 – CEVs máximos para demanda de 400L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	77
Figura 45 – Método que resulta em CEV máximo para demanda de 500L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	78
Figura 46 – Método que resulta em CEV máximo para demanda de 600L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.	79
Figura 47 – Método que resulta em COVs mínimos para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	81
Figura 48 – Método que resulta em COVs mínimos para demanda de 200L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	82
Figura 49 – Método que resulta em COVs mínimos para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	83
Figura 50 – Método que resulta em COVs mínimos para demanda de 400L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	84
Figura 51 – Método que resulta em COVs mínimos para demanda de 500L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	85
Figura 52 – Método que resulta em COVs mínimos para demanda de 600L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	86
Figura 53 – Método que resulta em COVs máximos para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	87
Figura 54 – Método que resulta em COVs máximos para demanda de 200L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	88
Figura 55 – Método que resulta em COVs máximos para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	89
Figura 56 – Método que resulta em COVs máximos para demanda de 400L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	90

Figura 57 – Método que resulta em COVs máximos para demanda de 500L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	91
Figura 58 – Método que resulta em COVs máximos para demanda de 600L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	92
Figura 59 – Método que resulta em CTVs mínimos para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	93
Figura 60 – Método que resulta em CTVs mínimos para demanda de 200L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	94
Figura 61 – Método que resulta em CTVs mínimos para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	95
Figura 62 – Método que resulta em CTVs mínimos para demanda de 400L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	96
Figura 63 – Método que resulta em CTVs mínimos para demanda de 500L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	97
Figura 64 – Método que resulta em CTVs mínimos para demanda de 600L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m ² , respectivamente.....	98
Figura 65 – Método sugerido para dimensionamento do reservatório que resulta em COV mínimo para demanda de 163L/dia e área de captação de 52m ² , para os pontos de latitude -7,2 e longitude -35,4.....	100
Figura 66 – Método sugerido para dimensionamento do reservatório que resulta em CEV máximo para demanda de 163L/dia e área de captação de 52m ² , para os pontos de latitude -7,2 e longitude -35,4.....	100
Figura 67 – Método sugerido para dimensionamento do reservatório que resulta em CTV mínimo para demanda de 163L/dia e área de captação de 52m ² , para os pontos de latitude -7,2 e longitude -35,4.....	101

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Distribuição da água doce no mundo.....	22
Quadro 2 – Tecnologias que dão suporte ao sistema de aproveitamento de água da chuva	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

mm - Milímetro

m² - Metro quadrado

m³ - Metro cúbico

L/dia – Litros por dia

CEV - Coeficiente de eficiência volumétrica

COV - Coeficiente de ociosidade volumétrica

CTV - Coeficiente de transbordamento volumétrico

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

P1MC - Programa Um Milhão de Cisternas

ASA - Articulação no Semiárido Brasileiro

NBR - Normas regulamentadoras brasileiras

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CNA – Conselho Nacional da Água

ONG – Organização não governamental

CAERN - Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte

P1+2 - O Programa Uma Terra e Duas Águas

BSI – *British Standards*

FD – Fração de demanda

GCP - Grau de Concentração de Precipitações anuais

Conf - Confiabilidade

Prob - Probabilidade

Re - Resiliência

Vul' - Vulnerabilidade

ISH - Índice de sustentabilidade hídrica

IDW - *Inverse distances weight*

ADW - *Angular distance weighting*

1 – INTRODUÇÃO

A escassez de água potável afeta pessoas no mundo inteiro, com uma população em situação de estresse hídrico, superior a 2 bilhões (UNITED NATIONS, 2021). Estima-se ainda, que existem 4 bilhões de pessoas no mundo habitando áreas que sofrem grave escassez de água sazonal, ou seja, não possuem água potável em pelo menos um mês ao ano (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2016).

A ausência de água com qualidade para consumo expõe a população, à maiores riscos físicos e sociais, principalmente as pessoas que já se encontram em situação de alta vulnerabilidade. O consumo de água imprópria causa doenças de veiculação hídrica, a exemplo da diarreia, que inibe a absorção de nutrientes, e causa a desnutrição, vitimizando principalmente crianças e idosos (VERAS *et al.*, 2022).

No mundo, estima-se que em torno de 829 mil pessoas morreram devido diarreia em 2016, incluindo quase 300 mil crianças menores de 5 anos, o que correspondeu a 5,3% de todas as mortes nessa faixa etária (PRÜSS-USTÜN *et al.*, 2019).

A ausência de água potável nas proximidades da habitação também é responsável pelo uso do tempo para coleta deste insumo de fontes, por muitas vezes localizadas a longas distâncias. São cerca de 230 milhões de pessoas, que gastam mais de 30 minutos por viagem coletando água de fontes fora de suas casas (WHO; UNICEF, 2017a *apud* UNITED NATIONS, 2021), sendo que em 8 de cada 10 domicílios, esta coleta é feita por meninas e mulheres, segundo pesquisa abrangendo 61 países (UNICEF, 2016 *apud* UNITED NATIONS, 2021).

No Brasil, apesar da grande disponibilidade de água potável, o crescimento da população, associado ao constante processo de urbanização e centralização populacional, observados nas últimas décadas, sobrecarregam a infraestrutura de abastecimento de água, resultando em um cenário onde quase 4 milhões de brasileiros ainda não possuem acesso a este bem (BRASIL, 2018).

As dimensões continentais do país, associadas à variabilidade climática e à heterogeneidade na distribuição dos recursos hídricos, tornam ainda mais desafiadora a tarefa de universalização do abastecimento e minimização dos casos de estresse hídrico.

Diante da disparidade regional existente na distribuição do recurso no país, é primordial a busca de soluções alternativas de abastecimento, que garantam água com qualidade nas proximidades das residências, com custo acessível, e fornecimento adaptado às condições e necessidades locais.

Uma solução que tem se mostrado viável, técnica e economicamente, para substituição da água em seus usos não potáveis - como irrigação, lavagem de pisos, descargas em bacias sanitárias, e ainda para banho e lavagem de roupas, é a implantação de sistemas de captação e armazenamento de água da chuva (VUONG, ICHIKAWA, ISHIDAIRA, 2016; ANDRADE *et al.*, 2019; KIM *et al.*, 2021), que podem ainda, em casos extremos de escassez, após tratamento adequado, suprirem o abastecimento em usos potáveis (IPT, 2015).

No Brasil, iniciativas como o “Programa 1 Milhão de Cisternas” (P1MC), criado em 1999 pela Articulação do Semiárido (ASA), e incorporado pela agenda das políticas públicas no ano de 2003, difundiu o uso de água da chuva por comunidades da região do semiárido brasileiro, historicamente assolada por longos períodos de seca. Este programa prevê o uso de cisternas de placa com capacidade para armazenar 16 mil litros de água, conectada ao telhado da habitação por meio de um sistema de calhas e tubos, e visa garantir o abastecimento de água para uma família de até cinco pessoas, por um período de até oito meses.

O sistema de captação e aproveitamento de água da chuva, composto essencialmente de uma superfície de captação e dispositivos para condução, tratamento e armazenamento (RAINDROPS GROUP, 2002), tem no reservatório o componente de maior complexidade de dimensionamento e maior custo individual ao longo da vida útil do sistema (GURUNG, SHARMA, UMAPATHI, 2012). Desta forma, a metodologia de dimensionamento considerada para este componente tem impacto direto na viabilidade técnica e econômica do sistema.

A norma brasileira NBR 15527:2019 – Aproveitamento de água de chuva em coberturas para fins não potáveis, determina quais as variáveis utilizadas para o cálculo do volume de água teoricamente disponível no sistema, como a precipitação e a área de coleta (ABNT, 2019). Estudos, porém, mostram que a variabilidade destes parâmetros pode influenciar na eficiência e confiabilidade do sistema (PELAK, PORPORATO, 2016; KOUMOURA *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2018; ONDERKA, PECHO, NEJEDLÍK, 2020).

Diante da extensão territorial do Brasil e das suas diferenças climáticas, em altura pluviométrica e distribuição temporal das chuvas, a análise de como esta variabilidade influencia na eficiência do sistema é primordial para sua análise de viabilidade e determinação de possíveis aplicabilidades para o uso da água.

Há de se considerar ainda, que a existência de numerosos métodos para dimensionamento do reservatório (SEMAAN *et al.*, 2020), adiciona certa subjetividade

ao cálculo do volume de armazenamento, o que pode levar a determinação de um valor de eficiência distante da realidade.

Neste contexto, a análise da aplicabilidade de diferentes metodologias de dimensionamento, em diferentes cenários, associados à análise das variabilidades pluviométricas e das variáveis de dimensionamento área e demanda, possibilita a determinação dos sistemas mais eficientes.

É primordial ainda, a determinação de quais parâmetros de eficiência são considerados na análise, e neste sentido coeficientes baseados no volume do reservatório e nos volumes de água aproveitada ou perdida (extravasada) pelo sistema, podem expressar uma análise de custo/benefício sem necessariamente a inclusão dos custos de implantação e tarifários de água, sujeitos a variações regionais e inflacionárias.

Diante das dificuldades existentes no dimensionamento objetivo de sistemas eficientes, este trabalho objetiva a apresentação de uma metodologia de dimensionamento de reservatórios baseada no uso de coeficientes obtidos por meio da análise dos volumes potencialmente aproveitáveis de água, num ciclo anual, e do volume dos reservatórios dimensionados por diferentes métodos existentes na literatura, considerando ainda diferentes cenários de área de captação e demanda de água.

O Coeficiente de Eficiência Volumétrica (CEV), admitido como o quociente entre o volume de água de chuva potencialmente aproveitável em um ciclo anual e o volume do reservatório, foi aplicado por Luna (2022) para análise de eficiência em reservatórios com volumes pré-fixados. O CEV foi aqui utilizado para análise de reservatórios cujos volumes foram obtidos por diferentes métodos de dimensionamento. O maior valor de CEV calculado, para determinado cenário e posição geográfica, está associado ao volume de reservatório que proporciona o maior custo/benefício do sistema, visto que está relacionado a um maior aproveitamento de água por m^3 de reservatório.

Outros dois coeficientes inéditos foram aqui propostos, o Coeficiente de Ociosidade Volumétrica (COV) e o Coeficiente de Transbordamento Volumétrico (CTV), os quais também permitem a análise de viabilidade com relação ao volume do reservatório dimensionado, porém sob outra perspectiva.

O COV permite a verificação da ociosidade volumétrica anual do reservatório, em relação à capacidade de armazenamento, e pode ser associado ao método de dimensionamento de reservatório que proporciona seu valor mínimo. O que representa o máximo aproveitamento volumétrico do reservatório, e não da água captada, como é o caso da análise obtida a partir do CEV.

Por sua vez, o CTV possibilita a determinação do volume de água transbordado pelo sistema num ciclo anual, e sua relação com o volume do reservatório. O seu valor mínimo está associado a sistemas que minimizam as perdas de água, e consequentemente a um método de dimensionamento do reservatório. Não necessariamente está relacionado a melhor relação custo/benefício, mas é um parâmetro útil quando o objetivo do projeto é o máximo aproveitamento de água.

A utilização destes coeficientes pode nortear o dimensionamento dos reservatórios para armazenamento de águas pluviais auxiliando a tomada de decisões, até então subjetivas e sujeitas a variações que precisam de atualizações constantes, como correções inflacionárias dos custos de implantação; e consequentemente auxiliar na difusão do uso da água de chuva, visto que, cria parâmetros quantitativos e comparativos de fácil utilização para dimensionamento dos sistemas.

2 - OBJETIVOS

Objetivo Geral:

Propor critérios para escolha de método de dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água de chuva em edificações residenciais no território brasileiro.

Objetivos Específicos:

1. Conceber parâmetros que auxiliem na escolha do método de dimensionamento de reservatórios mais indicado, dentre métodos selecionados na literatura, para o território brasileiro, considerando diferentes cenários de área de captação e demanda;
2. Determinar, dentre métodos de dimensionamento de reservatórios selecionados na literatura, qual permite obtenção de volume ótimo de reservatórios para armazenamento de água da chuva, baseados nos coeficientes CEV, COV ou CTV, considerando diferentes cenários de área de captação e demanda;
3. Desenvolver algoritmo que permita a identificação do método de dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água de chuva mais indicado para cada localidade, considerando valores de CEV, COV ou CTV ótimos em diferentes cenários de área de captação e demanda.

3 – REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 – Disponibilidade de água no mundo

A Terra possui aproximadamente 70% da sua superfície recoberta por água. Desta, porém, apenas uma pequena parcela, cerca de 0,7%, num total de 10,7 milhões de km³, corresponde a água com condições de salinidade adequadas para o consumo humano (CNA, 2013).

Dados do Conselho Nacional da Água (CNA), órgão português, estimam que estes 0,7% estão distribuídos conforme quadro 1.

Quadro 1 - Distribuição da água doce no mundo

Volume (km³)	% da distribuição da água	Localização
10,53.10 ⁶	97,670	Aquíferos subterrâneos
0,129. 10 ⁶	1,197	Livres na atmosfera
0,091.10 ⁶	0,844	Lagos naturais
0,0291. 10 ⁶	0,270	Pântanos, solos e seres vivos
0,00212. 10 ⁶	0,020	Escoando nos rios, constantemente substituído pela precipitação e o degelo registado nas bacias de drenagem.

Fonte: Adaptado de Conselho Nacional da Água (2013).

Há de se considerar, entretanto, as discrepâncias existentes entre as zonas mais povoadas, cuja demanda por água é maior, e as zonas em que a água é mais abundante, visto que sua distribuição na superfície terrestre não é uniforme, fator agravado ainda pelas mudanças climáticas e pressões oriundas do crescimento populacional.

Um relatório das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos (UNITED NATIONS, 2021) aponta que o crescimento da demanda por água doce no mundo aumentou em 6 vezes no último século, e avança continuamente numa taxa de 1% ao ano, como consequência do crescimento populacional, do desenvolvimento econômico e das mudanças nos padrões de consumo.

Este aumento, associado à diminuição da qualidade da água, seu consumo excessivo pelos meios de produção e os eventos de secas e inundações extremas, levam regiões, e consequentemente populações, a situações de estresse hídrico cada vez mais frequentes.

Informações divulgadas pela ONG WWF-Brasil, com base na análise de imagens de satélite de todo o território nacional entre 1985 e 2020 feitas pela equipe do MapBiomas, informam que o Brasil perdeu 15% da sua superfície de água no período.

A superfície coberta por água do Brasil em 2020 era de 16,6 milhões de hectares, uma área equivalente ao estado do Acre ou quase 4 vezes o estado do Rio de Janeiro. Desde 1991, quando chegou a 19,7 milhões de hectares, houve uma redução de 15,7% da superfície de água no país. A perda de 3,1 milhões de hectares em 30 anos equivale a mais de uma vez e meia a superfície de água de toda região nordeste em 2020.
(WWF-Brasil, 2021).

Analizando este cenário a nível mundial são contabilizadas mais de 2 bilhões de pessoas afetadas pela falta de água, valor que, se considerada a escassez sazonal, com déficit de abastecimento em ao menos um mês ao ano, chega a 4 bilhões (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2016), situação que pode ser agravada quando considerada a previsão de crescimento no consumo de quase 25% até 2030 (UNITED NATIONS, 2021).

Diante do desenvolvimento de modelos de produção e geração de energia baseados no uso da água, o número de eventos de conflito pelo seu uso é cada vez maior. No Brasil, por exemplo, a produção de grãos e a pecuária no Centro-Oeste, de frutas irrigadas em vales úmidos do semiárido nordestino, a expansão do setor hidroelétrico no Norte, e impactos decorrentes das atividades de mineração na Bahia e em Minas Gerais, mobilizaram milhares de famílias em uma década devido conflitos pelo uso da água (PEIXOTO; SOARES; RIBEIRO, 2021), conforme pode ser observado na figura 1.

Muitas regiões do mundo enfrentam ainda a escassez econômica de água, que ocorre quando o recurso está fisicamente disponível, mas não existe a infraestrutura necessária ao acesso. Esta situação decorre da falta de políticas públicas de gestão e acesso à água, e afeta principalmente as populações que já se encontram em situação de vulnerabilidade social, que comumente habitam áreas periféricas urbanas, ou rurais.

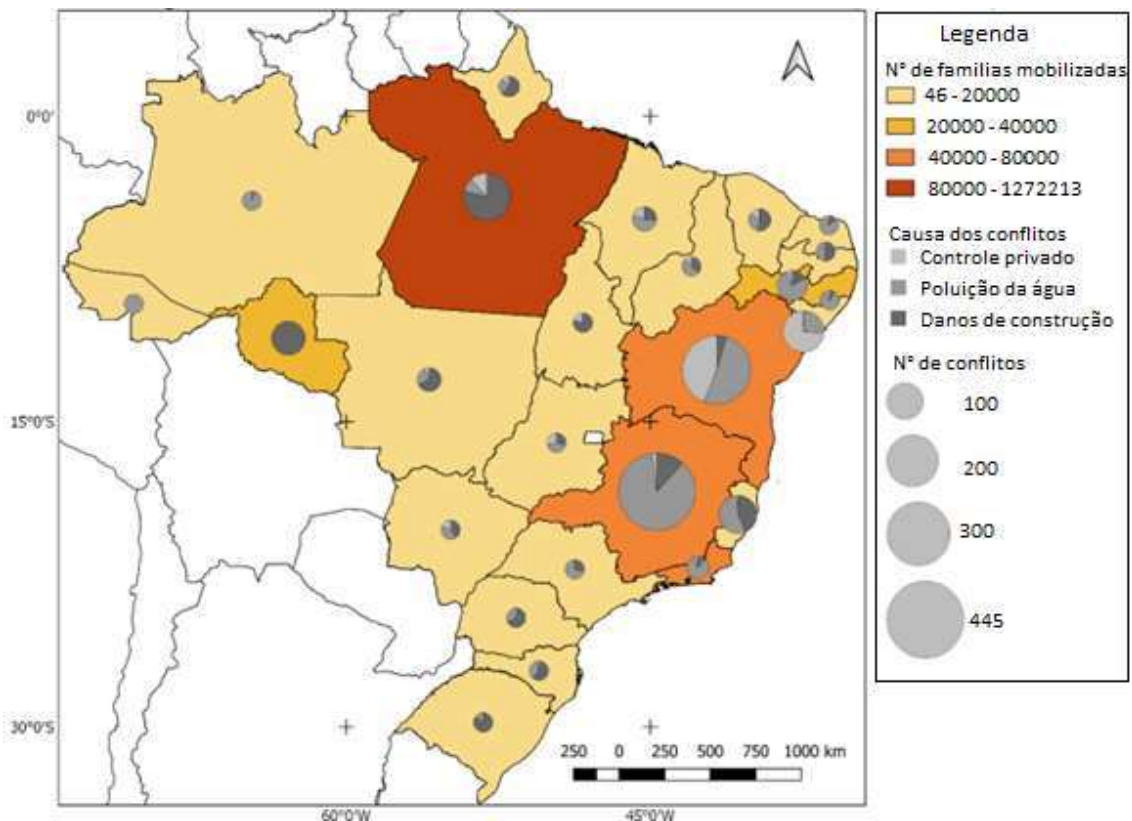


Figura 1 – Número de famílias mobilizadas e causas de conflitos pela água (2009-2019). (Fonte: PEIXOTO; SOARES; RIBEIRO, 2021)

Faz parte então, da rotina desta população a tarefa da coleta de água, sendo esta majoritariamente feminina (Figura 2), em 8 de cada 10 domicílios segundo dados de pesquisa realizada em 61 países (UNITED NATIONS, 2021 *apud* UNICEF, 2016). São milhões de meninas e mulheres que despendem horas do seu dia, todos os dias, para coleta de água em fontes a uma distância média de 6 km das suas residências (TZANAKAKIS; PARANYCHIANAKIS; ANGELAKIS, 2020).



Figura 2 – Mulher transportando água. (Fonte: Primeira Página, 2020 – disponível em: <<<https://ppagina.com/lata-dagua-na-cabeca-10032>>> Acessado em fevereiro de 2023)

Vale salientar ainda que comumente a população mais afetada pela escassez de água é aquela que paga mais caro por este recurso, segundo o Relatório Mundial sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos de 2019; onde o abastecimento por meio de caminhões-pipa fazem as pessoas que vivem em assentamentos informais pagarem de 10 a 20 vezes mais por sua água (UNESCO, 2019).

A escassez de água impõe a bilhões de famílias no mundo, riscos à saúde, à integridade social e ao seu desenvolvimento econômico. Estima-se que em torno de 3,4 milhões de pessoas morram anualmente devido consumo de água contaminada, que vitimiza principalmente crianças menores de 5 anos e idosos (PRÜSS-USTÜN *et al.*, 2019).

Podem ser citados ainda a desvalorização da terra e o esgotamento das possibilidades produtivas no meio rural devido à falta de água, como desdobramentos negativos da escassez, que impulsionam a migração da população para os centros urbanos, gerando adensamento populacional nas cidades e pressionando ainda mais o sistema de abastecimento.

Objetivando analisar este fenômeno Dahri *et al.* (2021) desenvolveram estudo para análise do efeito da escassez de água nas condições socioeconômicas em províncias do Paquistão, e verificaram que na cidade de Tango Bago, que passa por situações críticas de escassez de água, 93% das pessoas entrevistadas afirmaram sofrer problemas de abastecimento. Nesta cidade, com economia fundamentada na produção agrícola, 60% dos agricultores declararam não possuir água suficiente para irrigação dos seus plantios, e que esta situação foi a principal impulsora das migrações na última década.

No que se refere ao abastecimento doméstico, apesar de ser um direito básico, inclusive garantido constitucionalmente no Brasil, o acesso à água com qualidade ainda não é a realidade de todos no país que possui a maior reserva de água doce do mundo. Pesquisadores verificaram para o estado brasileiro do Rio Grande do Norte que dos 153 municípios que compõem o sistema de abastecimento administrado pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), concessionária estadual, 49% se enquadraram em risco de escassez de água alto ou muito alto, apenas 10% em risco baixo, e nenhum em risco muito baixo (MACEDO; TROLEIS; ALMEIDA, 2022).

Não podem deixar de ser citados também os diversos impactos negativos gerados no desenvolvimento social de uma população em condições de escassez de água. Além dos riscos já citados de contaminação devido ao consumo de água imprópria, a

desnutrição, a perda de horas de trabalho e de escola, e a desvalorização da terra, impedem o desenvolvimento de um estado de bem-estar social.

Garantir o abastecimento de água para as necessidades básicas humanas é um dos grandes desafios do século, dificultado pelo crescimento da taxa de uso da água, que foi duas vezes maior que a taxa de crescimento populacional no último século (MA, 2022).

Desta forma, soluções alternativas e sustentáveis, como o uso de água da chuva, devem ser consideradas. Esta prática milenar que consiste na captação de água em superfícies para fins não potáveis ou potáveis, após tratamento adequado, visa o suprimento de água em regiões com escassez, e volta a ser uma opção, que necessita, entretanto, de análises de viabilidade para garantia do funcionamento efetivo dos sistemas, que devem ser dimensionados para as condições climáticas e de consumo de cada usuário.

3.2 – Sistemas de captação e armazenamento de água de chuva

Diversos indícios arqueológicos provam que a utilização de água da chuva para abastecimento humano foi uma prática exercida por diferentes civilizações antigas. Existem registros da presença de sistemas que utilizavam água da chuva para descargas em bacias sanitárias no ano de 2000 a.c. na ilha de Creta; e reservatórios construídos pelos maias, na região onde hoje se localiza a península de Yucatán, armazenavam água da chuva para abastecimento de toda população da antiga cidade maia de Tikal durante o período de seca (TOMAZ, 2010a).

Essa prática, embora seja milenar, ganhou notoriedade nas últimas décadas como alternativa para o fornecimento de água em vários países, cuja população é afetada pela escassez de água, causada pelo adensamento de centros populacionais e/ou por mudanças climáticas (CAMPISANO *et al.*, 2017).

Outro aspecto relevante associado aos sistemas de captação e aproveitamento de água da chuva é o impacto que estes causam no sistema de drenagem urbana, podendo mesmo serem considerados sistemas de drenagem sustentáveis, visto que ajudam a reduzir o volume de escoamento de água da chuva (CAMPISANO *et al.*, 2017).

O sistema para captação e aproveitamento de água da chuva é constituído basicamente por uma superfície de captação, e dispositivos para armazenamento e tratamento da água, conforme esquematizado na figura 3, que podem, ainda, serem adaptados às condições estruturais locais e de uso da água, através da escolha da

superfície de captação mais adequada, do formato e disposição dos reservatórios, e da forma de tratamento, por exemplo.

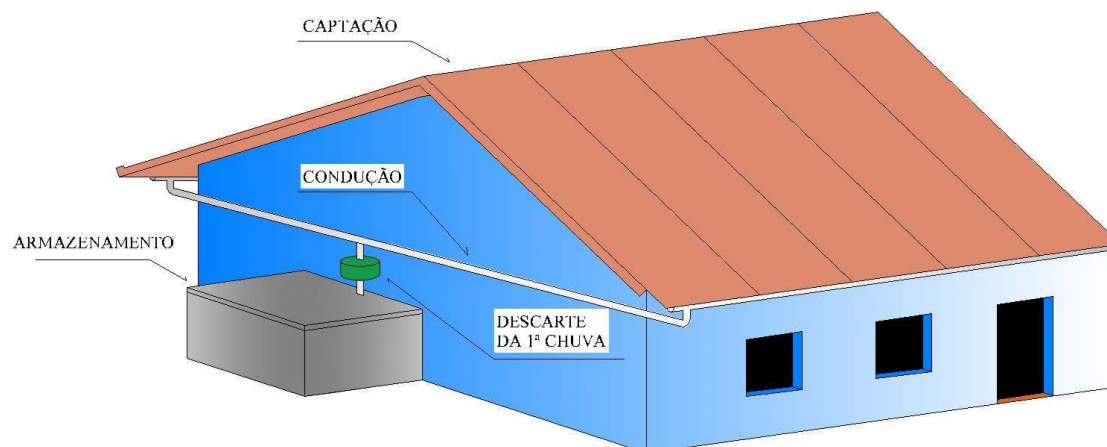


Figura 3– Sistema de captação e armazenamento de água da chuva. (Fonte: Autora, 2023)

A superfície de captação, comumente adaptada nos telhados das edificações, pode ainda incluir outras superfícies, a exemplo das cisternas-calçadões, implantadas como uma das iniciativas do Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2) pela Articulação do Semiárido brasileiro (ASA), que visam o suprimento de água para agricultura familiar.

Esta é uma cisterna com capacidade de armazenamento de até 52 mil litros de água, ligada por uma tubulação a um calçadão de 200 m² que serve como área de captação da água das chuvas, conforme figura 4 (ASA, [s. d.]).



Figura 4 – Cisterna-Calçadão. (Fonte: Daki, s.d. – disponível em: <<<https://semiaridovivo.org/wp-content/uploads/2022/03/CISTERNA-CALC%CC%A7ADA%CC%83O-2.jpg>>> Acessado em fevereiro de 2023)

No Brasil, a difusão do uso de água da chuva se deu através de programas como o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), que visava beneficiar mais de 5 milhões de famílias através da construção de um milhão de cisternas com capacidade de armazenamento de 16 mil litros para a região do semiárido brasileiro, historicamente assolada por períodos de escassez de água. Atualmente, o programa, que atingiu a sua meta em 2014, continua atuando e visa a construção de mais um 1 milhão de cisternas (ASA, s.d.).

A norma brasileira NBR 15527:2019 - “Água da chuva – Aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis – Requisitos” estabelece alguns critérios a serem seguidos para a concepção de projetos para captação e armazenamento de água da chuva para fins não potáveis. Dentre eles podem ser destacados:

1. A necessidade de pré-tratamento para a água antes da sua reservação;
2. A instalação de dispositivos como grades e telas, para remoção de sólidos indesejáveis (detritos, folhas, insetos, etc.) que devem ser retidos e/ou desviados nas calhas;
3. O descarte da água de escoamento inicial, que normalmente fará a lavagem do telhado, sugerida como sendo de 2 mm da precipitação inicial;
4. Que o sistema de água da chuva seja independente do sistema de água potável, não existindo conexões cruzadas.

A água da chuva, apesar de ser utilizada, normalmente, em atividades que não exigem sua potabilidade, não possui necessariamente uma qualidade inferior à da água oriunda de outras fontes; como foi verificado por Farto e Silva (2020) através da análise de doze cisternas, localizadas em três municípios do semiárido paraibano, das quais seis eram abastecidas por água de açude e seis com água captada da chuva; no estudo os pesquisadores analisaram quinze parâmetros de qualidade da água, e seus níveis de conformidade de acordo com a Portaria nº 5/2017 do Ministério da Saúde (vigente à época), e observaram que aquelas abastecidas por água da chuva apresentavam melhor qualidade.

Alguns dos usos não potáveis da água da chuva incluem sistemas de resfriamento a água; descarga em bacias sanitárias e mictórios; lavagem de veículos; lavagem de pisos; reserva técnica de incêndio; e irrigação de jardins (ABNT, 2019). Em situações de escassez de água extrema, porém, após tratamento adequado, a água da chuva pode ser utilizada para fins mais nobres, como preparação de alimentos e consumo humano direto (IPT, 2015).

O *Raindrops Group* resume as tecnologias que dão suporte ao sistema conforme quadro 2.

Quadro 2 – Tecnologias que dão suporte ao sistema de aproveitamento de água da chuva

Coleta de água da chuva que cai no telhado, além de outros locais.
Armazenamento da água da chuva em tanques e reservatórios.
Tratamento e melhora da qualidade da água da chuva.
Abastecimento da água da chuva aos locais do seu uso.
Drenagem do excesso da água da chuva devido no caso de chuvas intensas.
Completar a água da chuva com água de abastecimento em tempo seco.
Eliminação da água do início da chuva.

Fonte: Adaptado de *Raindrops Group* (2002)

Dentre os dispositivos que compõem este sistema o reservatório é o item com maior representatividade nos custos de implantação e manutenção; fato foi verificado em estudo realizado na Austrália, cujo objetivo foi avaliar economicamente sistemas de armazenamento de água de chuva individuais e coletivos. Gurung, Sharma e Umapathi (2012) constataram que o reservatório representava o item de maior custo individual, ao longo da vida útil do sistema, em instalações individuais de aproveitamento de água de chuva. E que mesmo em sistemas coletivos, onde a topografia e a disposição das habitações podem tornar as tubulações os itens de maior custo, o reservatório não deixa de ter um valor significativo no projeto; o que torna necessária a obtenção de volumes otimizados, e análise de cenários onde estes são aplicáveis.

São diversos os desafios existentes para a ampla utilização da água de chuva para abastecimento, entre estes, a busca por reservatórios que associem a maximização do atendimento da demanda à minimização de custos de implantação, diante de diferentes cenários de disponibilidade de área para o sistema, e de consumo de água, se destaca.

3.2.1 – Métodos de dimensionamento de reservatórios

Diferentes métodos, para dimensionamento, existem na literatura, consistindo desde métodos práticos, onde o volume é determinado por meio de equações empíricas, usualmente, com base nos parâmetros de área de captação, precipitação e demanda de água, como o método Prático Inglês, Alemão e Brasileiro; métodos estocásticos,

realizados através de simulações para bases de dados incompletas, e balanços de massa, aplicados a séries contínuas de dados (SEMAAN *et al.*, 2020).

Um dos métodos bastante conhecido é o método de *Rippl*, que consiste em um balanço de massas cujo objetivo é a regularização da vazão através do armazenamento do volume excedente de água precipitada, para consumo nos períodos de estiagem.

Para sua aplicação idealmente devem ser empregadas séries históricas com no mínimo 20 anos de dados, o que pode representar uma grande dificuldade para muitas localidades brasileiras com deficiência no fornecimento de dados, e torna mais usual a aplicação de dados em base mensal (TOMAZ, 2010b).

É amplamente empregado na literatura, apesar de apresentar o valor extremo do volume do reservatório, visto que sua metodologia prevê o armazenamento de todo o excedente de água em algumas situações.

Neste método o volume de água captado pelo sistema depende, além da precipitação, da área de captação da superfície e do seu material constituinte (Equação 1), e o volume do reservatório é então determinado através do somatório dos déficits de abastecimento verificados na diferença entre a demanda e a entrada de água no intervalo de tempo considerado (ABNT, 2007) (Equações 2 e 3).

$$Q_{(t)} = C x P x A \quad (\text{Equação 1})$$

Onde C é o coeficiente de escoamento superficial, também conhecido como coeficiente de *runoff*, [adimensional], P a precipitação em milímetros [mm], A a área de captação em metros quadrados [m²], e Q(t) é o volume de água que entrará no sistema em litros [L].

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad (\text{Equação 2})$$

$$V = \sum S_{(t)} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde S(t) é o déficit de água no sistema, D(t) é a demanda a ser atendida, no dia ou no mês, em litros [L], V é o volume do reservatório em litros [L], mas apenas para valores de S(t) > 0.

Este método é indicado para cenários em que a oferta de água acumulada é superior à demanda acumulada (ABNT, 2007).

Alguns métodos empíricos também podem ser empregados para determinação do volume de reservatórios para armazenamento de água de chuva, dentre eles podem ser citados o método Azevedo Neto, também conhecido como método Prático Brasileiro, e o método prático Inglês.

O método Azevedo Neto é um método prático apresentado na norma brasileira NBR15527:2007 (ABNT, 2007), que considera para determinação do volume de água aproveitável pelo sistema, e concomitantemente o volume do armazenamento, além da área de captação (A) e a precipitação média anual (P), e a quantidade de meses de pouca chuva ou secos (T) (Equação 4).

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (\text{Equação 4})$$

Onde P é a precipitação expressa em milímetros [mm], A é a área em metros quadrados [m]², T o número de meses secos no ano é adimensional, e V o volume do reservatório em litros [L].

Já o método prático Inglês, também apresentado na norma brasileira NBR15527:2007 (ABNT, 2007), foi inicialmente proposto pela Agência Britânica de Meio Ambiente, embasada pela *British Standard 8515:2009 - Rainwater Harvesting Systems – Code of Practice*, e determina que para sistemas domésticos com demanda diária constante, o tamanho do tanque de armazenamento de água de chuva como o menor volume entre 5% do volume captado pelo sistema e 5% da demanda anual (BSI, 2009).

A equação inicialmente desenvolvida para o Reino Unido baseia o armazenamento no volume de água precipitado médio em 18 dias (BSI, 2009), e desconsidera a variabilidade temporal da chuva, admitindo como variável de entrada apenas a precipitação média anual, o que é justificado pela baixa sensibilidade a flutuações diárias na precipitação, entre regiões do Reino Unido, observada através do cálculo do coeficiente de Fração de Demanda (FD) (Equação 5) (FEWKES; WARM, 2000).

$$FD = \frac{A \times P}{D} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde P é a precipitação diária [m], A é a área de captação [m²] e D a demanda diária [m³].

Para o cálculo do volume do reservatório de armazenamento o método prático Inglês, é aplicado segundo a equação 6, conforme citação da NBR 15527:2007 (ABNT, 2007), onde o volume do reservatório é:

$$V = 0,05 \times P \times A \quad \text{(Equação 6)}$$

Onde P é a precipitação média anual [mm], A é a área de captação [m²] e V o volume do reservatório [L].

Não existem, entretanto, na normatização brasileira, e mesmo na literatura internacional, orientações quanto à escolha do método a ser utilizado. Já tendo sido observado que diferenças significativas podem ser encontradas, no volume calculado, quando da aplicação de diferentes métodos, ainda que as mesmas variáveis de dimensionamento sejam admitidas.

Araújo, Vale e Guedes (2019) aplicaram diferentes métodos de dimensionamento para duas cidades brasileiras, localizadas no estado do Rio Grande do Norte - Natal e Mossoró, escolhidas por possuírem características pluviométricas distintas, para diferentes cenários de demanda e área de captação.

Os autores verificaram que alguns métodos não seriam apropriados para certas condições de precipitação, visto que resultavam em um mesmo volume de reservatório, independentemente da demanda de água de chuva; a exemplo dos métodos práticos alemão e inglês, que desconsideram as deficiências dos meses de pouca chuva ou seca, e por este motivo devem ser utilizados com cautela em regiões secas, como o semiárido.

Lima, Mannich e Pedroso (2020) em estudo semelhante para a cidade de Curitiba/PR, analisaram a possibilidade de falha do reservatório dimensionado por diferentes métodos - *Rippl*, simulação, práticos alemão, inglês, Azevedo Neto e Australiano, e método recomendado pela Lei 10785/03 do Município de Curitiba – PR; onde o não atendimento da demandada foi considerado um evento de falha, e observaram que apenas o método Azevedo Neto permitiu o dimensionamento de reservatório sem falhas.

Em estudo comparativo dos métodos de dimensionamento, para as cidades de Belo Horizonte, Porto Alegre e Góias, Fonseca *et al.* (2019) encontraram discrepâncias de até 10 vezes mais para os volumes dimensionados pelo método de *Rippl* e os métodos práticos. E apenas os reservatórios com volume acima de 15m³ mostraram, numa análise do índice de aproveitamento de água, eficiências acima de 80% para as três cidades.

Sendo que, para a cidade de Porto Alegre, em que as alturas pluviométricas anuais elevadas geraram uma entrada de água superior a demanda, em todo o período estudado, baixas demandas resultaram em reservatórios com volume próximo de zero.

Mesmo quando do uso de um único método, para uma mesma localidade, variações na área de captação ou na demanda de água, podem ocasionar variações não lineares do volume de água aproveitável no sistema, o que leva a intuir que existem características na pluviometria, área de captação e demanda, que podem ser associadas a um volume de reservatório ótimo, a depender da metodologia de dimensionamento aplicada.

Neste sentido Allen e Haarhoff (2015) buscaram investigar a aplicabilidade de uma equação prática, que levava em consideração parâmetros dependentes das condições climáticas de cada localidade, para regiões da África do Sul, no dimensionamento do reservatório para armazenamento de água de chuva. Através da análise de dados de três cidades sul-africanas, os pesquisadores verificaram que o volume do reservatório se mostrou mais dependente da variabilidade sazonal da chuva do que da precipitação média anual, o que exigiria uma análise hidrológica detalhada, antes da aplicação do método, em regiões com grande diferenciação pluviométrica.

Fazendo uso de um balanço hídrico, Notaro, Liuzzo e Frezi (2017), buscaram avaliar a confiabilidade do reservatório de armazenamento, para diferentes áreas de captação e características de demanda, na ilha da Sicília; onde verificaram que usos domésticos da água, como descargas em bacias sanitárias, que possuem valores diários praticamente constantes, permitiram o dimensionamento de reservatórios com até 95% de confiabilidade, sendo o reservatório de 20m³ aplicável de forma satisfatória em quase toda a região. Mas, que quando considerado o uso da água para irrigação, cuja demanda varia entre os períodos secos e chuvosos, reservatórios maiores seriam necessários, tornando até mesmo desinteressante o projeto de reservatório com esses usos operando de forma simultânea.

Muitos estudos já observaram, também, que variações na distribuição temporal das chuvas, como concentração do período chuvoso em poucos meses do ano, característico de regiões semiáridas, podem tornar inviáveis a obtenção de volumes de reservatório com eficiência desejável, em determinados cenários, e exigem uma análise cuidadosa da demanda que se dispõe a atender e da área de captação disponível (GIFFONI, V. V. *et al.*, 2019).

A fim de analisar como a distribuição temporal da chuva influencia no dimensionamento dos reservatórios, Araújo e Cohim (2017) analisaram o grau de concentração das precipitações anuais (GCP), para sete cidade baianas, e verificaram uma tendência de aumento do volume do reservatório, dimensionado através do software Netuno, com o aumento do GCP, concluindo que é fundamental estudar como a distribuição anual das chuvas interfere no dimensionamento dos reservatórios e que, portanto, não deve ser negligenciada para garantia de um maior aproveitamento da água da chuva.

Limitações diferentes, entretanto, são observadas em regiões úmidas, com período chuvoso mais bem distribuído ao longo do ano (ZHANG *et al.*, 2019), ou com excedente considerável em um curto espaço de tempo, a exemplo de algumas regiões asiáticas, como o Vietnã, que possui um período de chuvas extremas em alguns meses do ano, as monções.

A eficiência de reservatórios neste cenário foi analisada em estudo por Nguyen, Ichikawa e Ishidaira (2018) para 128 pontos distribuídos no território do Vietnã, nos quais os autores constataram a viabilidade de implantação de sistemas de aproveitamento de água da chuva em toda a região. Tal análise consistiu na verificação de atendimento da demanda não potável por água armazenada em reservatórios dimensionados com dados diários, e verificaram com base nos custos da água e de implantação do sistema percentuais de atendimento variando entre 19 e 65%; com períodos de retorno entre 7 e 17 anos.

Desta forma, o dimensionamento do reservatório, deve estar atrelado ao cálculo da sua eficiência, para cada caso específico, evitando simplificações que podem incorrer em falsos valores de demanda de água atendida pelo sistema, permitindo um cálculo mais preciso do tempo de retorno do investimento inicialmente realizado (GHISI, 2010).

3.3 – Eficiências de sistemas de captação e armazenamento de água de chuva

A eficiência do sistema de armazenamento de água de chuva é, normalmente, influenciada negativamente por acontecimentos atípicos, como secas, picos de demanda, e eventos chuvosos extremos.

Com o intuito de avaliar esta influência, Hashimoto, Stedinger e Loucks (1982) propuseram indicadores de desempenho chamados de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade, para análise de reservatórios. O coeficiente de confiabilidade, definido

conforme equação 7, pode ser entendido como a probabilidade de a operação deste sistema pertencer a um estado satisfatório (S) dado um conjunto de operações (X_t).

$$Conf = Prob[X_t \in S] \quad (\text{Equação 7})$$

A resiliência, é uma probabilidade condicional que quantifica a chance de o reservatório voltar a operar normalmente após uma falha, conforme demonstrada na equação 8.

$$Re = Prob\{X_{t+1} \in S | X_t \in F\} \quad (\text{Equação 8})$$

Enquanto a vulnerabilidade é a análise da magnitude da falha, caso esta venha a ocorrer, como explicitado na equação 9.

$$Vul' = \frac{\sum_{j=1}^{fs} max(sj)}{fs} \quad (\text{Equação 9})$$

onde s_j é o déficit volumétrico, ou vazão durante uma sequência de fracasso contínuo e fs é o número de sequências de falhas contínuas.

Baseado nestes indicadores de desempenho, Loucks (1997) propôs um indicador de sustentabilidade para os sistemas. Segundo este autor as medidas de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade comumente se baseavam em julgamentos subjetivos quanto a representação da falha do sistema, o que poderia dificultar a comparação de planos e políticas a serem considerados na tomada de decisões sobre o projeto e operação desses sistemas. Através do indicador de sustentabilidade, definido pela equação 10, seria possível então quantificar a sustentabilidade relativa a sistemas de recursos hídricos, onde ISH representa o Índice de Sustentabilidade Hídrica (ISH), que pode variar de 0 a 1.

$$ISH = Conf \times Re \times [1 - Vul'] \quad (\text{Equação 10})$$

Risso *et al.* (2018) verificaram, por meio destes indicadores, aplicados a três cenários de operação, o desempenho do Reservatório Billings, inserido na bacia do Alto

Tietê - São Paulo, quanto à sua capacidade de atender as demandas de abastecimento urbano e de geração de energia elétrica simultaneamente; e concluíram que o estudo da eficiência do sistema é fundamental na fase de planejamento do empreendimento, a fim de que as demandas sejam atendidas de forma satisfatória.

No que se refere a reservatórios para armazenamento de água de chuva, diferentes metodologias para análise da sua eficiência existem na literatura, sendo associadas, usualmente, ao percentual da demanda atendida, e aos custos do sistema.

A associação destes dois parâmetros, quando do dimensionamento, incorre na obtenção de volumes de reservatórios otimizados, que integram o cálculo do menor reservatório e possibilite a maior substituição possível, ou aceitável, de água em usos não potáveis, pela água da chuva.

Foi com este objetivo que Pelak e Porporato (2016) buscaram desenvolver uma formulação para obtenção de volume de um reservatório otimizado, através da incorporação dos custos associados ao reservatório dimensionado, a oferta de água e ao atendimento da demanda por água não potável, buscando assim a minimização dos custos ao longo da vida útil do sistema. Os autores verificaram com esta análise uma completa dependência entre o volume ótimo dos reservatórios e as variáveis de entrada do dimensionamento, deixando clara a importância da avaliação das especificidades de cada projeto.

Neste mesmo sentido Koumoura *et al.* (2018) buscaram analisar, para a ilha grega, Kimolos, que possui problemas históricos com a escassez de água, a eficiência de reservatórios para armazenamento de água da chuva, através do percentual de economia na compra de água; e verificaram que diante da baixa pluviosidade local, a alta eficiência do sistema na região está diretamente relacionada à grandes áreas de captação e baixas demandas.

Diferentes condições pluviométricas, porém, podem influenciar na relação entre o volume de água efetivamente utilizável pelo sistema e as variáveis de entrada, e desta forma são cruciais na avaliação de viabilidade financeira e eficiência do sistema. Para tanto, Silva, Athayde Júnior e Melo (2019) estudaram como a variação da demanda e área de captação afetaram o volume de água utilizável em Irecê, uma cidade do semiárido brasileiro, utilizando um modelo de balanço hídrico em reservatórios com volumes pré-determinados de 5m³, 10m³, 20m³ e 30m³. Após analisar três diferentes padrões de consumo e três diferentes áreas de captação para cada padrão, os autores reportaram que, a partir de um determinado volume do reservatório, a variação da área de captação e da

demanda tem pouca influência no volume de água aproveitável pelo sistema de captação e armazenamento de água de chuva, especialmente para altos valores de consumo.

Contudo este resultado não pode ser extrapolado para regiões com condições climáticas distintas, conforme verificaram Silva, Athayde Júnior e Almeida (2022) através da análise do impacto sofrido no volume dos reservatórios dimensionados pelo método de *Rippl* para seis valores de demanda em todo o território brasileiro. Os autores observaram que a variação da demanda afetou o volume do reservatório de maneiras distintas, dependendo da intensidade e da distribuição pluviométrica anual local. Em regiões secas, houve tendência de concentração dos menores volumes de reservatório para as maiores demandas, enquanto nas regiões mais chuvosas a situação foi oposta.

É ainda possível, em sistemas concebidos para múltiplas finalidades, como abastecimento e redução do escoamento superficial, a determinação das eficiências de atendimento para ambos os usos. Sample, Liu e Wang (2013), analisaram para a cidade de Richmond, Virginia – Estados Unidos, a eficiência de reservatórios que objetivavam reduzir o volume de escoamento superficial, a fim de reduzir os riscos de enchentes, e abastecer o consumo não potável em edificações. Os pesquisadores partiram de valores de confiabilidade fixos, e a partir destes determinaram as áreas de captação e volumes de reservatórios associados a cada uso, permitindo a escolha de uma combinação com eficiência desejável para ambos os fins; neste caso, alcançada com o aumento do volume dos reservatórios.

A escolha indiscriminada de altos volumes, a fim de se obter uma elevada eficiência baseada na alta taxa de atendimento da demanda, não pode, porém, ser feita; uma vez que em localidades de baixa pluviometria anual, pequenas áreas de captação podem tornar sistemas de armazenamento ociosos. Esta foi a situação observada por Cohim e Orrico (2015) em 25% dos casos analisados, de 947 cisternas do P1MC, que possuem volume fixo de dezesseis mil litros, e nas quais o volume armazenado seria inferior a seis mil litros.

Desta forma, buscando verificar uma condição que associasse custos mínimos e potenciais de atendimento da demanda na faixa de 65% a 95%, Giffoni e Cohim (2019) analisaram diferentes combinações de área de captação e demanda para reservatórios dimensionados para Feira de Santana-BA, e verificaram a existência de uma combinação que aliava custo mínimo e percentual de atendimento de 95% quando considerada uma demanda de 250 L/dia, numa área de captação de 208 m² e volume de cisterna de 20.900 L.

Neste sentido, a eficiência mostra-se como um critério indispensável na determinação da viabilidade técnica e econômica de um sistema de aproveitamento de água de chuva, e apesar de em muitos estudos seus maiores valores estarem associados aos maiores reservatórios, esta consideração, conseqüentemente, eleva os custos do sistema. Desta forma, a obtenção de um volume de reservatório otimizado é fundamental para a garantia de um sistema eficaz. Não existe, porém, uniformidade sobre as metodologias de otimização, apesar de, geralmente, os estudos basearem-se na minimização dos custos ao longo da vida útil do sistema associada ao atendimento da demanda de água não potável (PELAK, PORPORATO, 2016).

Para o Brasil, assim como para os demais países, ainda existe certa subjetividade na tomada de decisões durante o processo de dimensionamento dos sistemas, fator dificultado pela variabilidade climática do país, o que impede a aplicação de uma metodologia única de forma indiscriminada, e torna necessária a análise da variabilidade da eficiência do sistema, em diferentes cenários, a fim de determinar quais condições permitem a otimização do aproveitamento de água em cada localidade.

É extremamente vantajoso associar nas análises de viabilidade parâmetros que expressem, mesmo que de maneira indireta, o custo do reservatório, visto que a viabilidade financeira do sistema está fortemente relacionada ao custo de implantação deste item. Desta forma a proposição de coeficientes que possibilitem a quantificação da eficiência através da relação entre o volume de água da chuva aproveitável e o volume do reservatório, pode representar uma grande facilitação para dimensionamento e popularização destes sistemas.

Neste sentido (LUNA, 2022) fez uso do Coeficiente de Eficiência Volumétrica (CEV) para análise da eficiência de reservatórios com os volumes pré-determinados de 2, 5, 10, 15 e 30m³, considerando três padrões socioeconômicos e três áreas de captação, para atendimento de consumos doméstico não potáveis em todo o Brasil. O CEV permite a determinação da relação entre o volume de água aproveitável pelo sistema de aproveitamento de água de chuva em um ciclo anual e o volume do reservatório, e está expresso na equação 11.

$$CEV = \frac{V_{apr}}{V_{res}} \quad \text{(Equação 11)}$$

Esta mesma análise é feita neste trabalho, porém com um enfoque diferente, que considera as múltiplas possibilidades de metodologias de dimensionamento de reservatórios existentes na literatura. Objetiva-se então a determinação de quais métodos proporcionariam os maiores CEVs quando levada em consideração a variabilidade pluviométrica do Brasil e diferentes cenários de área de captação e demanda de água.

Visto que em determinadas situações, as dificuldades de adequação dos sistemas em terrenos urbanos, e a disponibilidade de área de captação é limitada, outros coeficientes também foram propostos neste trabalho. São eles o Coeficiente de Ociosidade Volumétrica (COV) e o Coeficiente de Transbordamento Volumétrico (CTV), ambos relacionados ao volume do reservatório obtido por meio de diferentes métodos de dimensionamento.

Estes dois coeficientes propostos neste trabalho de tese, permitem a análise do volume ocioso do reservatório e o volume transbordado pelo sistema, respectivamente. Baseado nestes três coeficientes pretende-se então, a proposição de uma nova metodologia de dimensionamento para o Brasil, na qual a partir da área de captação e da demanda requerida pelo projeto, o usuário obterá como resposta o método de dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água de chuva que lhe proporcionará o maior CEV, menor COV e menor CTV para a localidade onde o sistema será instalado.

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 – Dados pluviométricos

O presente trabalho foi desenvolvido para todo o território brasileiro, fazendo uso de uma base de dados pluviométricos em base diária, no período compreendido entre 01/01/1980 e 31/12/2016, disponibilizados online (<https://sites.google.com/site/alexandrecaidoxavierufes/home?authuser=0>), e espacializados em forma de grade com resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, totalizando uma malha com 162 valores de latitude e 168 valores de longitude (XAVIER; KING; SCANLON, 2016). Atualmente, a base de dados disponível (<https://sites.google.com/site/alexandrecaidoxavierufes/brazilian-daily-weather-gridded-data?authuser=0>) fornece dados diários entre 01/01/1980 e 31/12/2020, numa grade com resolução de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$, resultando em uma malha com 393 valores de latitude e 391 valores de longitude, cobrindo todo o território brasileiro. À época do processamento dos dados para esta tese, esta atualização (até 31/12/2020) ainda não havia sido disponibilizada, de modo que foi utilizada a versão com informações disponíveis até 31/12/2016.

A grade de dados aqui utilizada, foi desenvolvida pelos pesquisadores através da interpolação de informações obtidas de 9259 estações pluviométricas, está distribuída em todo o território brasileiro. Para tratamento dos dados, conforme realizado por Xavier; King; Scalon (2017), foram inicialmente eliminados os pontos extremos, considerados em valores inferiores a 0 mm e superiores a 450 mm, uma vez que estes representaram apenas 94 em um universo de 32 milhões de dias. Não foram, entretanto, removidos pontos por meio de análises de homogeneidade, devido a insuficiência de dados disponíveis para tanto (XAVIER; KING; SCANLON, 2017).

Para interpolação das informações, foram aplicadas seis metodologias distintas, validadas através de uma avaliação cruzada com dados observados; para os dados de precipitação os métodos de ponderação do inverso da distância (IDW) e ponderação do inverso da distância angular (ADW) mostraram os melhores resultados, e foram, portanto, aplicados (XAVIER; KING; SCANLON, 2016).

Os dados foram disponibilizados em formato NetCDF, e para seu processamento foi utilizada a linguagem de programação *Python*, compilada em *software* na versão 3.0 distribuído gratuitamente.

A figura 5 mostra, como exemplo, a precipitação ocorrida em 02/01/1980 na área de estudo, disponível no referido banco de dados.

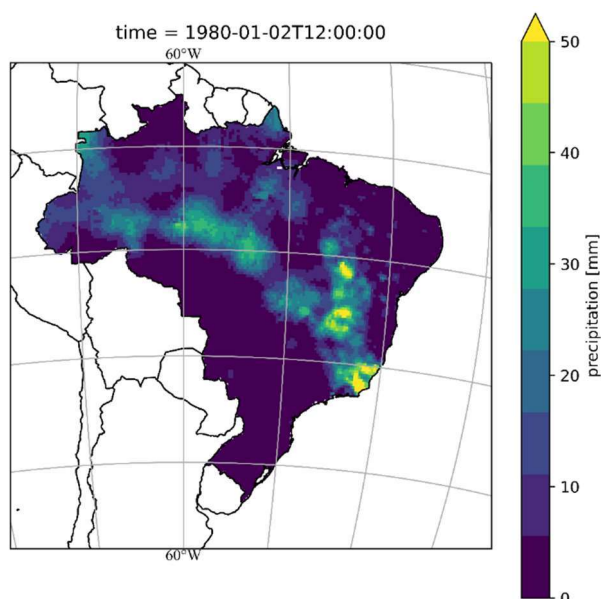


Figura 5 – Área de estudo com representação da precipitação para o dia 02 de janeiro de 1980, conforme disponibilizada em base online. (Fonte: Produzido com base de dados de Xavier, King e Scalón, 2016).

4.2 – Dimensionamento do reservatório e variáveis de entrada

Para dimensionamento do reservatório de armazenamento de água da chuva foram considerados diferentes cenários, com variações da área de captação e da demanda diária de água. Foram ainda aplicados três métodos de dimensionamento diferentes, existentes na literatura atual, sendo que dois deles, *Rippl* e Azevedo Neto, foram aplicados de duas maneiras distintas, sendo desta forma consideradas cinco metodologias de dimensionamento (Figura 6).

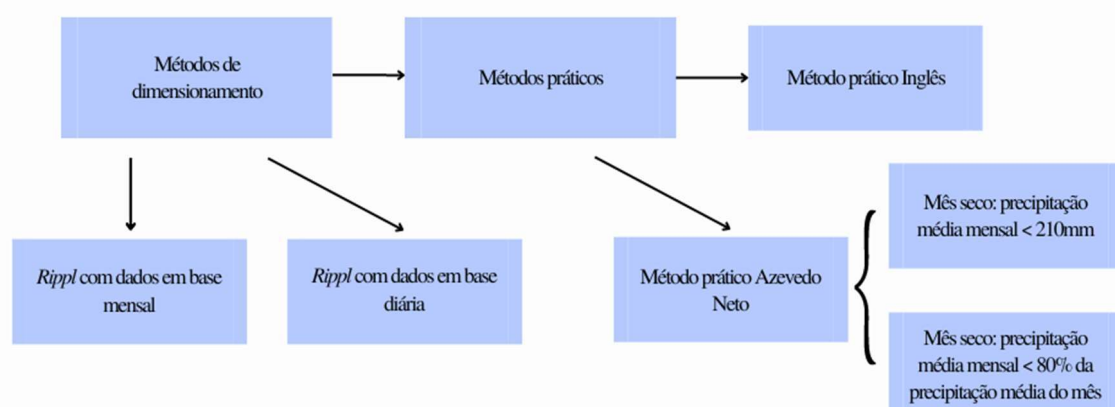


Figura 6 – Metodologias consideradas para dimensionamento do reservatório. (Fonte: Autora, 2023)

Este método é indicado para cenários em que a oferta de água acumulada é superior à demanda acumulada (ABNT, 2007). Neste trabalho, onde os dados foram

aplicados em base diária e mensal, em situações nas quais $\sum D > \sum Q$, no período de análise, o volume do reservatório foi determinado a partir do somatório do maior saldo acumulado de água que venha a existir.

Estes critérios não foram atingidos em situações em que ocorreu apenas saldo, ou apenas déficit, durante o período de análise, situações nas quais foi admitido que o método não é aplicável à localidade e portando o volume do reservatório seria zero.

Entre os métodos práticos empregados no dimensionamento dos reservatórios, para o método prático Inglês foi aplicada a equação conforme citada na NBR 15527:2007 (ABNT, 2007). Enquanto no método Azevedo Neto, também conhecido como método Prático Brasileiro, além da área de captação e a precipitação média anual, a quantidade de meses de pouca chuva ou secos também é considerada na determinação do volume do reservatório

Não há indicação na norma brasileira, nem consenso na literatura, sobre o valor mínimo de precipitação abaixo do qual um mês seria considerado seco ou de pouca chuva. Desta forma, diante da falta de normatização quanto a forma de determinação dos meses, estes foram contabilizados de duas formas distintas.

Em uma delas foi considerado um limiar de 210mm mensais, abaixo do qual um mês foi considerado seco, este valor foi definido através de observação das médias mensais de precipitação, e foi aquele que permitiu a contabilização de meses na maior parte do território brasileiro, pois valores inferiores foram superados em todos os meses nas regiões mais chuvosas do país, resultando em volume de armazenamento igual a zero, enquanto valores superiores levaram a classificação de todos os meses como secos na região semiárida, situação que poderia levar ao superdimensionamento do reservatório.

O método Azevedo Neto também foi aplicado considerando mês seco como aquele em que a média mensal da precipitação é inferior à 80% da precipitação média do mês, neste caso em cada localidade um limiar de precipitação é determinado com base na sua precipitação mensal (SILVEIRA; ANDRADE; ARAÚJO, 2018).

Além dos métodos de dimensionamento dos reservatórios para armazenamento de água de chuva, as variáveis de entrada demanda, área de captação e coeficiente de escoamento superficial também foram admitidas.

Para cálculo do volume de água que entrará no sistema foram admitidas quatro áreas de captação superficial (50, 100, 150 e 200m²), simulando áreas de telhado em edificações residenciais, constituídas do mesmo material cerâmico, e com mesma

inclinação, justificando a adoção de um coeficiente de escoamento superficial único, de valor igual à 0,8, conforme sugerido por Tomaz (2010).

Tendo em vista o abastecimento de água doméstico, foi necessária a adoção de um consumo de água não potável diário, aqui admitidos seis valores distintos e constantes dentro de cada cenário (100, 200, 300, 400, 500 e 600L/dia), sem a realização de considerações socioeconômicas como parâmetro de variação. Diante destas considerações (Figura 7) foram analisados 24 cenários para cada método de dimensionamento, totalizando 120 cenários, listado no apêndice C deste trabalho, para cada um dos 27216 pontos espacializados no território brasileiro.



Figura 7 – Variáveis de entrada consideradas para dimensionamento do reservatório. (Fonte: Autora, 2023)

Nas situações em que os dados foram trabalhados em base mensal o consumo de água foi acumulado para o mês, considerando a variação da quantidade de dias em cada mês, inclusive em anos bissextos.

4.4 – Cálculo do volume de água aproveitável

Para cada cenário considerado, foram determinados os volumes de água aproveitável em cada sistema. Foi considerado para tanto, o volume água que entraria no sistema, por meio da equação 12.

$$Vent = \frac{P \cdot A \cdot \eta}{1000} \quad \text{(Equação 12)}$$

Onde P é a precipitação diária [mm], A a área de captação [m²], e η o coeficiente de escoamento superficial [adimensional].

Em todos os cenários o reservatório foi considerado vazio no dia 1, e a partir daí a água coletada e não consumida seria armazenada para o dia seguinte. No instante em que o reservatório atingisse sua capacidade máxima, após a retirada do consumo, todo volume captado seria extravasado.

Assim, de posse do volume de entrada, do consumo diário de água, e do volume do reservatório, foram verificados os eventos de transbordamento diariamente, conforme equação 13.

$$(Vent_{(t+1)} + Vres_{(t)} - C) \begin{cases} > 0 \rightarrow Vtr = (Vent_{(t+1)} + Vres_{(t)} - C) - V \\ < 0 \rightarrow Vtr = 0 \end{cases} \quad (\text{Equação 13})$$

Onde $Vent_{(t+1)}$ é o volume de água absorvido pelo sistema de captação [m^3], C o consumo diário [m^3], e $Vres_{(t)}$ o saldo de água existente no reservatório [m^3], Vtr o volume transbordado [m^3], e V o volume do reservatório [m^3]. Para dias em que o volume captado, mesmo quando da existência de saldo armazenado, foi inferior ao necessário para atendimento da demanda, o valor encontrado pela equação é negativo, ou seja, não ocorreu transbordamento, e o valor foi assumido como zero.

A partir dos volumes de entrada e transbordados o volume de água aproveitável diariamente foi determinado (Equação 14), possibilitando o cálculo do volume médio anual de água aproveitável para cada cenário admitido (Equação 15).

$$Vapr = Vent - Vtr \quad (\text{Equação 14})$$

$$\bar{V}_{apr} = \sum_{t=1}^{t=n} Vapr / N \quad (\text{Equação 15})$$

Onde n é o número de dias, e N o número total de anos analisados.

4.5 – Cálculo dos coeficientes

4.5.1 – Coeficiente de Eficiência Volumétrica (CEV)

O Coeficiente de Eficiência Volumétrica (CEV) permite a determinação do volume de água aproveitável pelo sistema por m^3 de reservatório construído, possibilitando assim uma análise do custo/benefício do sistema. O coeficiente foi determinado através da equação 16, onde $\bar{V}_{apr}$ é o volume médio anual de água aproveitável [m^3], e V o volume do respectivo reservatório dimensionado [m^3].

$$CEV = \frac{\bar{V}_{apr}}{V} \quad (\text{Equação 16})$$

Foram então determinados, e plotados em mapas, os métodos de dimensionamento de reservatórios, em cada cenário, que permitiram o maior CEV para cada localidade, nos quais os valores máximos de CEV foram considerados como sendo valores ótimos.

4.5.2 – Coeficiente de Ociosidade Volumétrica (COV)

O Coeficiente de Ociosidade Volumétrica permite a análise de quanto do volume do reservatório dimensionado ficará ocioso, em média anualmente, em relação ao volume de armazenamento (Figura 8).

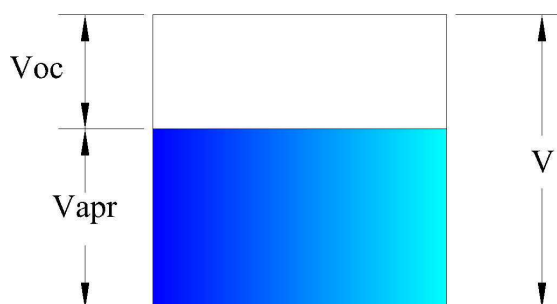


Figura 8 – Volumes considerados para cálculo do COV. (Fonte: Autora, 2023).

A análise da ociosidade permite o estudo mais detalhado de sistemas possivelmente superdimensionados, e a comparação entre cenários aqui analisados permite a determinação dos métodos de dimensionamento que resultam na maior e menor ociosidade, para cada localidade.

O coeficiente foi calculado por meio da equação 17, onde Voc é o volume ocioso anual médio, ao longo do período de análise [m³], V o volume do reservatório [m³], e N o número de anos analisados.

$$COV = \frac{\sum_1^N (V - V_{apr}) / N}{V} = \frac{V_{oc}}{V} \quad (\text{Equação 17})$$

Mapas com os valores de COV, calculados para reservatórios dimensionados por cada um dos métodos aqui considerados, foram plotados. A análise comparativa dos valores obtidos para cada cenário foi feita visando a identificação dos valores mínimos, considerados então como os ótimos.

4.5.3 – Coeficiente de Transbordamento Volumétrico (CTV)

O coeficiente de transbordamento volumétrico mensura o quanto do volume de água captada pelo sistema é transbordado, em relação ao volume do reservatório, e está

consequentemente relacionado ao volume efetivamente aproveitável pelo usuário, auxiliando a análise de sistemas possivelmente subdimensionados, permite, ainda, a verificação do quanto o aumento da área de captação representa um real aumento no volume de água aproveitável.

Para seu cálculo (Equação 18) foi determinado o volume transbordado do reservatório, diariamente, através da diferença entre o volume de entrada e o volume aproveitável, e o quanto esta diferença, em um ciclo anual, representa em relação ao volume de armazenamento do reservatório.

$$CTV = \frac{\sum_1^n (V_{ent} - V_{ap}) / N}{V} = \frac{V_{tr}}{V} \quad (\text{Equação 18})$$

Onde V_{ent} é o volume de entrada [m^3], V_{ap} o volume aproveitável [m^3], V_{tr} o volume transbordado anual médio [m^3], V o volume do reservatório [m^3], e N o número anos analisados.

De posse dos valores de CTV para cada cenário e cada método de dimensionamento aqui considerado, foram identificados quais os valores mínimos para cada localidade, sendo estes admitidos como ótimos.

4.6 – Metodologia para dimensionamento de reservatórios de armazenamento de água de chuva

Baseada nos três coeficientes calculados foi desenvolvida então uma metodologia que permite ao projetista de sistemas de armazenamento de água de chuva, a determinação do método de dimensionamento de reservatório que resultará no melhor CEV, COV ou CTV para sua localidade e cenário, a depender dos critérios de projeto desejados.

Para tanto, foi desenvolvido, em linguagem de programação Python, algoritmo, disponibilizado no apêndice B deste trabalho, e em diretório online juntamente com as informações necessárias à sua execução (https://github.com/Cinthya-Santos/Metodologia_reservatorios_Agua_de_Chuva.git); que permite ao usuário a escolha do coeficiente no qual se baseará o dimensionamento do reservatório, para posição geográfica e cenários específicos, conforme demonstrado na figura 9 que representa a janela de interação do usuário com o algoritmo.

Figura 9 – Interface do usuário de algoritmo para obtenção de método para dimensionamento de reservatório para armazenamento de água de chuva baseado nos coeficientes CEV, COV e CTV. (Fonte: Autora, 2023).

O algoritmo foi desenvolvido apenas para o território brasileiro, logo, se as coordenadas fornecidas pelo usuário não estiverem inscritas na área territorial do país, uma mensagem de erro será disponibilizada na interface do algoritmo.

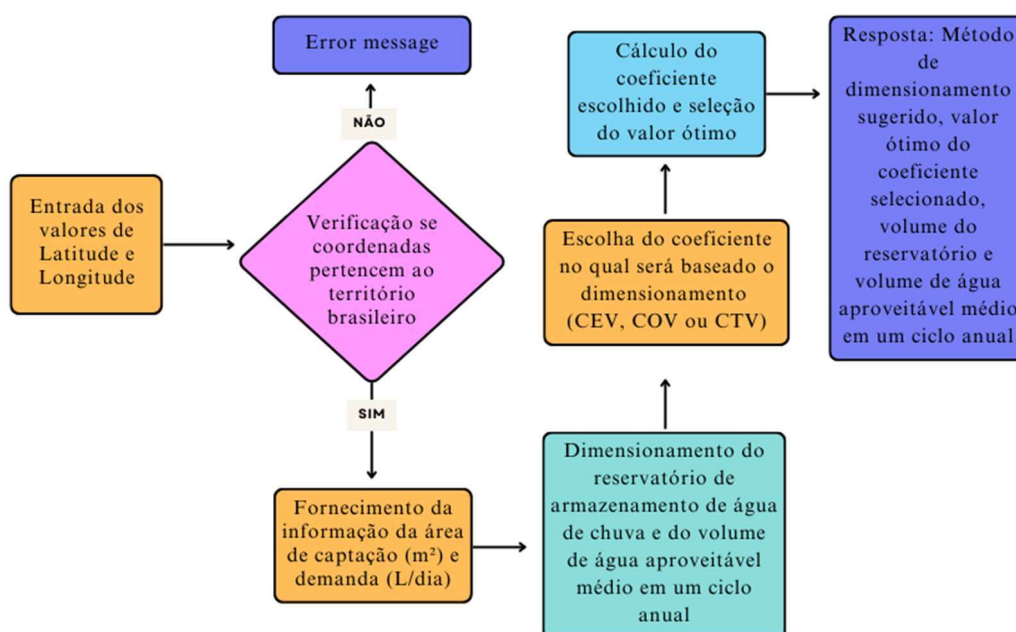


Figura 10 – Algoritmo da metodologia para dimensionamento do baseada nos CEV, COV e CTV. (Fonte: Autora, 2023).

Dadas coordenadas válidas, entretanto, como pode ser observada na lógica de funcionamento demonstrada na figura 10, o algoritmo irá analisar o banco de dados para

a localização determinada, e juntamente com os valores de área de captação e demanda fornecidos, irá realizar o dimensionamento do reservatório para armazenamento de água de chuva pelos métodos supracitados, e seus respectivos volumes de água aproveitável médios em um ciclo anual.

A partir, então, do coeficiente selecionado, seus valores serão calculados para cada método de dimensionamento, e estes serão comparados para seleção do valor ótimo, que será fornecido ao usuário, juntamente da informação do método de dimensionamento ao qual esse corresponde, e ao volume do reservatório e de água aproveitável médio em um ciclo anual.

Todas as etapas seguidas para desenvolvimento deste trabalho estão esquematizadas na figura 11.

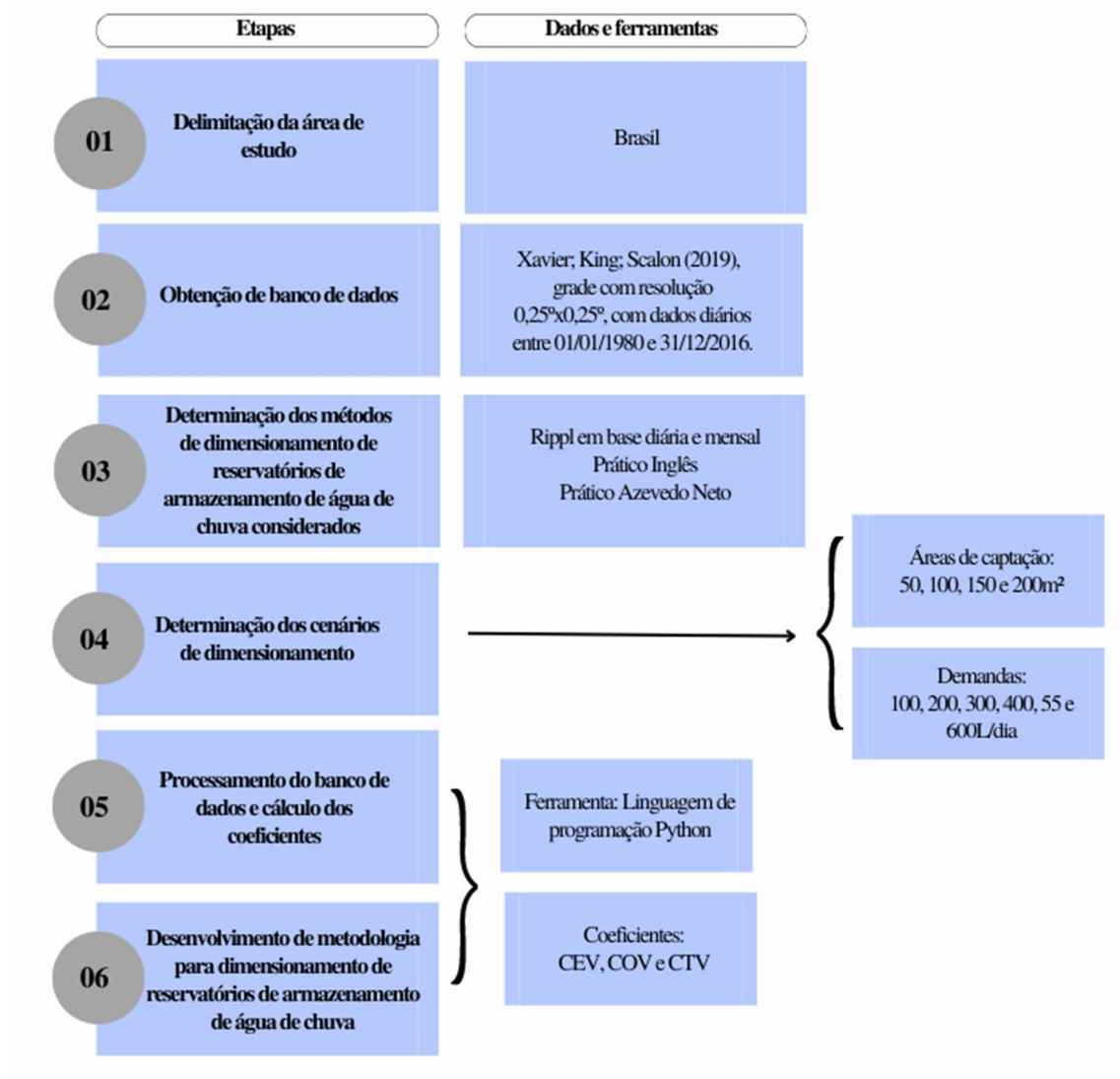


Figura 11 – Etapas metodológicas para desenvolvimento do trabalho. (Fonte: Autora, 2023).

5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 - Volume do reservatório

As variáveis consideradas no dimensionamento do reservatório, total precipitado no ano climático, variabilidade da chuva, área de captação e demanda, apresentaram maior ou menor influência no volume de armazenamento calculado, a depender da metodologia de cálculo aplicada.

As diferentes condições climáticas observadas no território brasileiro, com alta variabilidade pluviométrica entre regiões, tanto em totais precipitados quanto em distribuição temporal da chuva (Figura 12), geraram diferentes volumes de reservatório para as mesmas condições de área de captação e demanda, como já verificado em diversos estudos presentes na literatura (AMORIM; PEREIRA, 2008; LEITE; SANTOS, 2015; VAZQUEZ *et al.*, 2017; FONSECA; MENEZES FILHO, 2019; FERREIRA; ALVES DA SILVA, 2020).

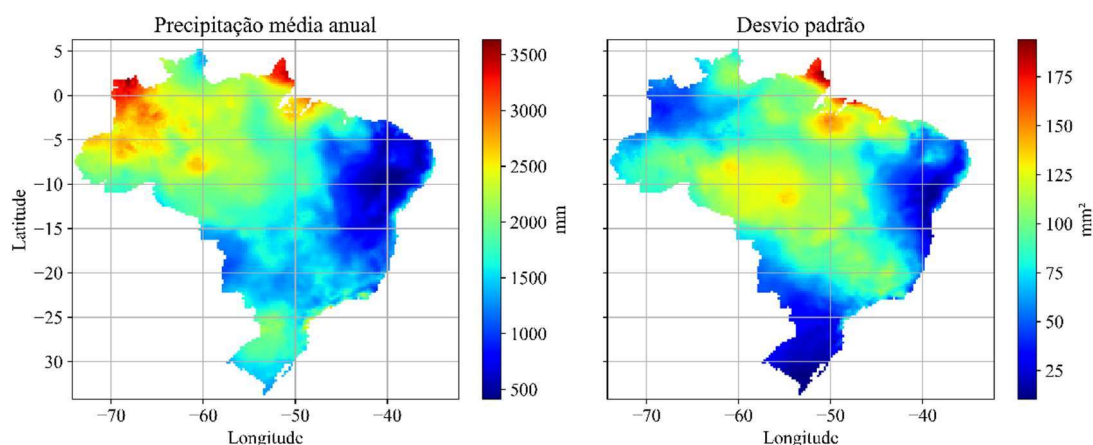


Figura 12 – Precipitação média anual e desvio padrão para o período de análise entre 01/01/1980 e 31/12/2016. (Fonte: Autora, 2023)

Dentre os métodos aplicados, o Prático Inglês foi o que resultou nos menores volumes de reservatório, tendo este apresentado crescimento diretamente proporcional ao aumento da área de captação.

A variação da demanda, entretanto, não afetou o volume dos reservatórios para este método, tendo todas as demandas consideradas resultado no mesmo volume de armazenamento, para uma mesma área, e uma mesma localidade. Este comportamento, já esperado visto que o consumo de água não é uma das variáveis consideradas no dimensionamento, conforme pode ser observado na figura 13 onde estão representados os volumes de reservatórios obtidos para as quatro áreas de captação e as seis demandas consideradas, para todas as longitudes do território brasileiro ao longo da latitude -7,125.

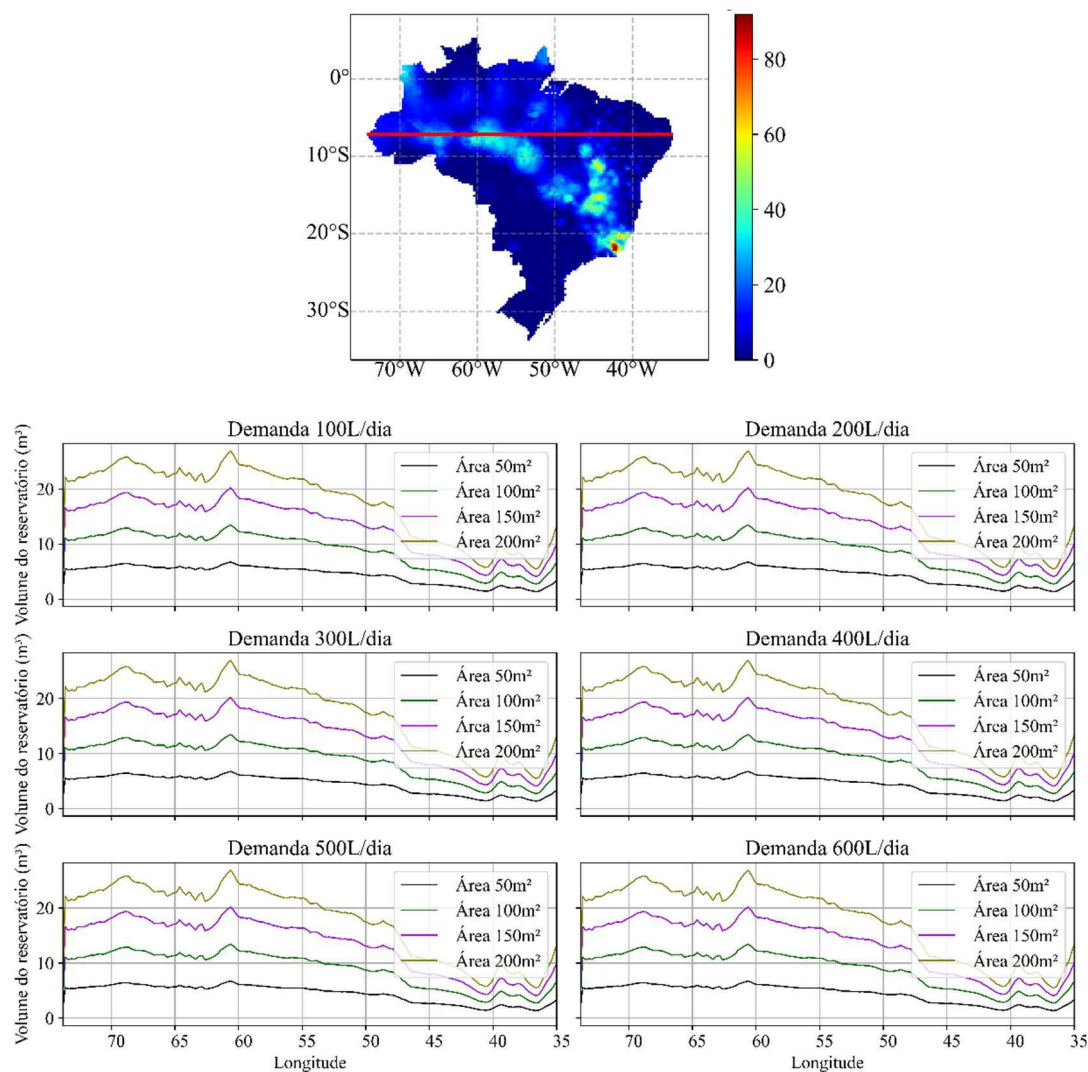


Figura 13 – Mapa com volumes de reservatórios dimensionados pelo método prático Inglês para demanda de 100L/dia com representação de linha na latitude -7,125, e volumes dos reservatórios dimensionados para todos os cenários pelo referido método ao longo desta latitude. (Fonte: Autora, 2023)

Para este método prático os maiores reservatórios concentraram-se na região Norte do país, que possui maiores índices pluviométricos anuais, seguidos dos reservatórios da região Sul, e os menores na região do semiárido, historicamente com as menores alturas pluviométricas (Figura 14).

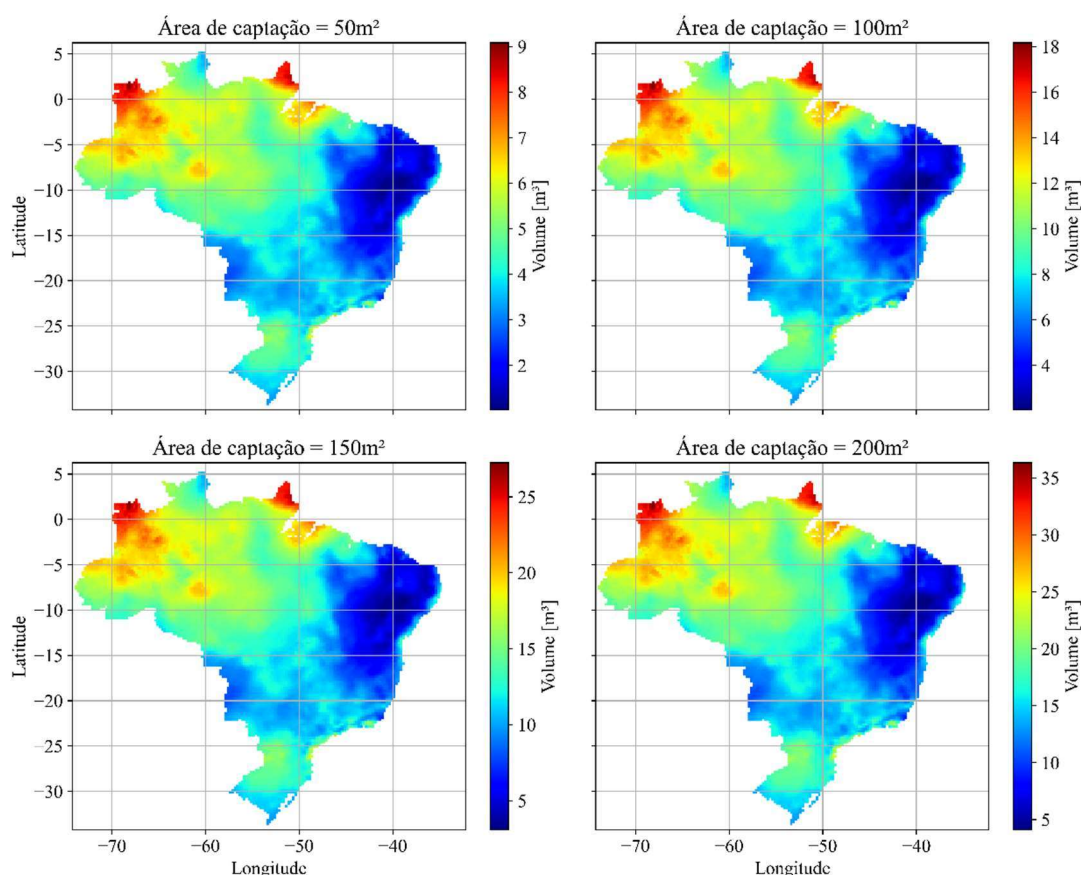


Figura 14 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método Prático Inglês para demanda de 300L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Este comportamento, de aumento dos volumes proporcional ao incremento da área de captação, foi observado também no método Azevedo Neto (Figura 15), independentemente da metodologia de contabilização dos meses secos. Nestes casos, maiores reservatórios foram observados em localidades com maior precipitação anual, associada a uma baixa variabilidade das médias mensais dentro do ano climático.

Assim, os menores reservatórios, diferentemente do método Prático Inglês, que os restringiu apenas a região semiárida, estiveram localizados também na região sul, que por possuir médias mensais uniformemente distribuídas ao longo do ano, não possui longos períodos estiagem, ocasionando um menor número de meses considerados secos.

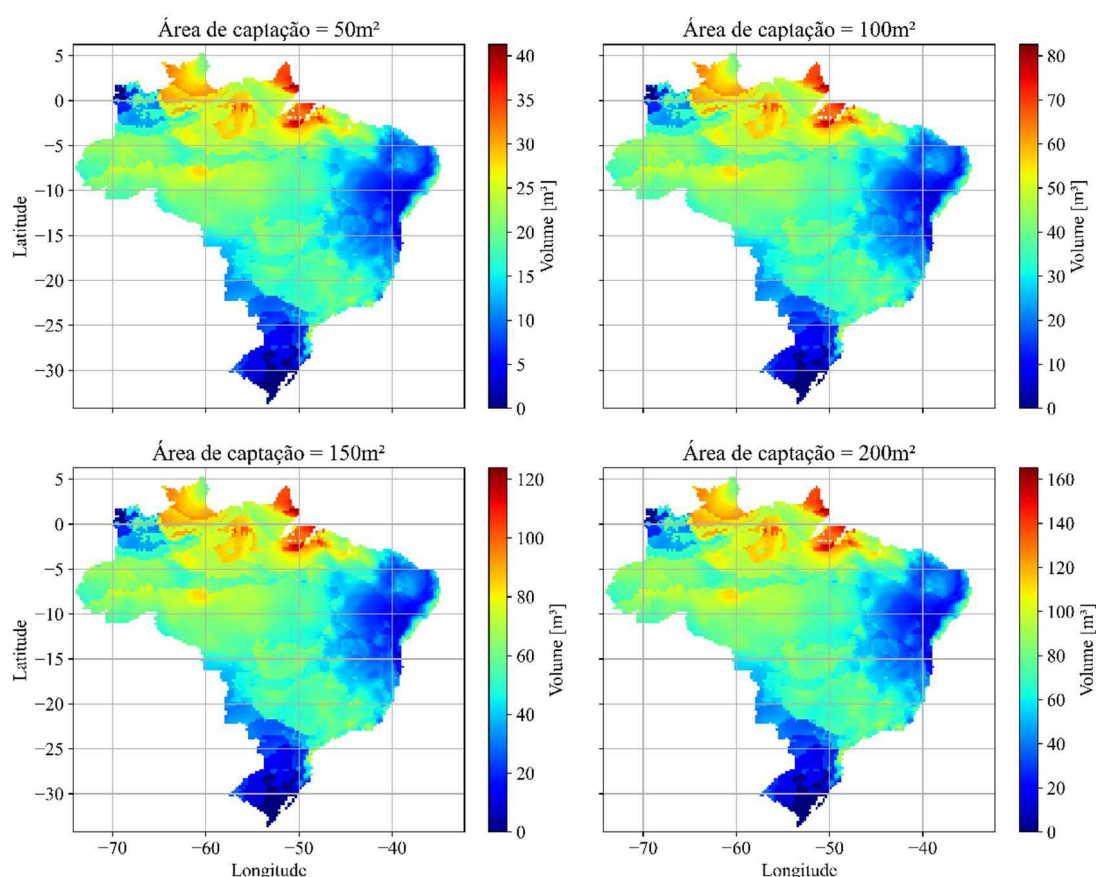


Figura 15 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método Azevedo Neto, considerando limiar de mês seco baseado na média mensal de cada localidade, para demanda de 400L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Quando comparadas as duas metodologias, nas quais o método foi aplicado neste trabalho, verifica-se que a consideração de um limiar fixo de 210mm de precipitação mensal (Figura 16), abaixo da qual o mês foi considerado seco, gerou maiores volumes de reservatório, do que nas situações em que o mês seco foi aquele no qual a média mensal foi inferior à 80% da precipitação média do mês (Figura 17).

Esse fenômeno deu-se devido às formas de contabilização dos meses secos, visto que um limiar fixo foi dificilmente ultrapassado em regiões de baixa precipitação mensal, e mesmo em locais de alta precipitação anual total, como a região Sul, uma distribuição uniforme da chuva ao longo do ano, quando em valores abaixo do limiar adotado, levou a contabilização de um maior número de meses secos.

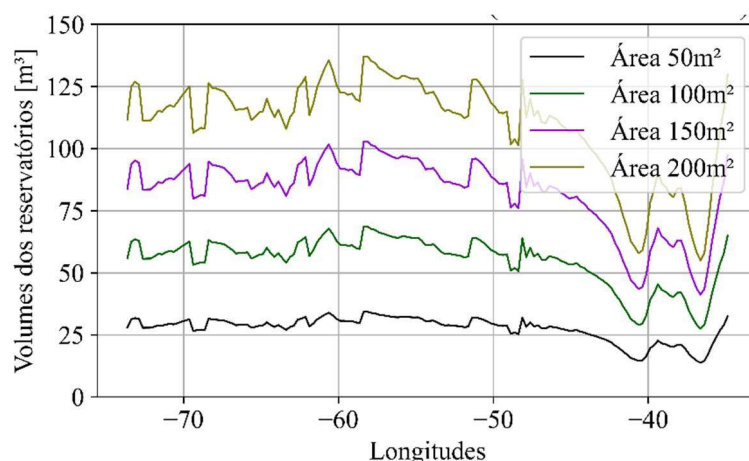


Figura 16 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método Azevedo Neto na latitude - 7,125, considerando limiar de mês seco o valor fixo de 210mm mensais, para demanda de 100L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

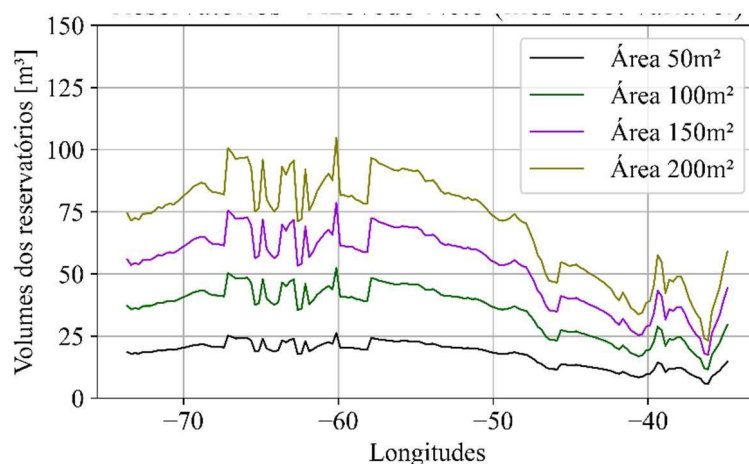


Figura 17 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método Azevedo Neto na latitude - 7,125, considerando limiar de mês seco baseado na média mensal de cada localidade, para demanda de 100L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

A variação da demanda não causou impacto nos volumes de reservatórios dimensionados pelo método Azevedo Neto, tendo cada área de captação um volume de reservatório resultante que se repetiu em todos os cenários de demandas, conforme pode-se observar nas figuras 18 e 19 que representam os volumes de reservatórios para todas as longitudes na latitude fixa de -7,125 (Figura 18), e todas as latitudes na longitude fixa de -53,125 (Figura 19).

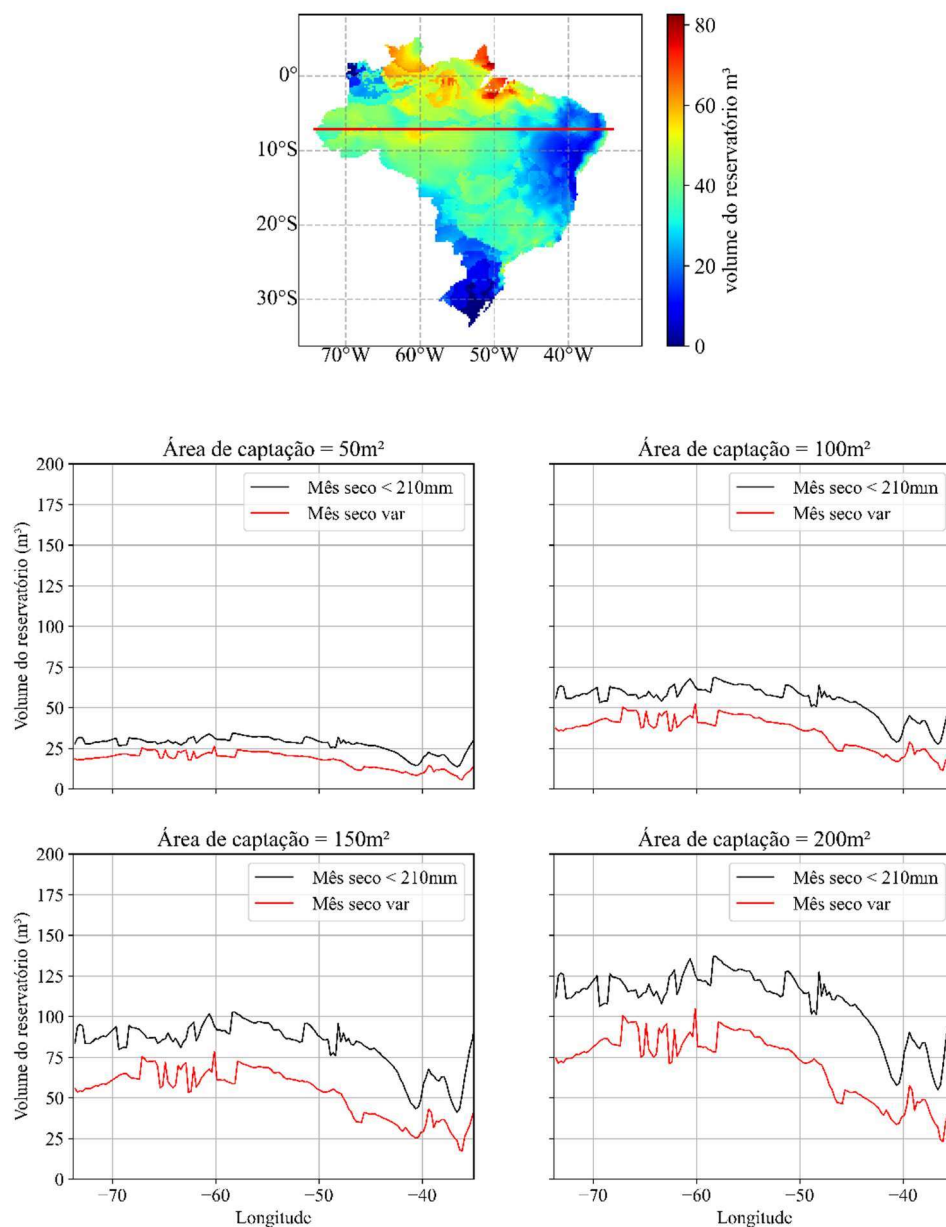


Figura 18 – Mapa com volumes de reservatórios dimensionados pelo método Azevedo Neto para demanda de 200L/dia e área de 100m² com representação de linha na latitude -7,125, e volumes dos reservatórios dimensionados para todos os cenários pelo referido método ao longo desta latitude. (Fonte: Autora, 2023)

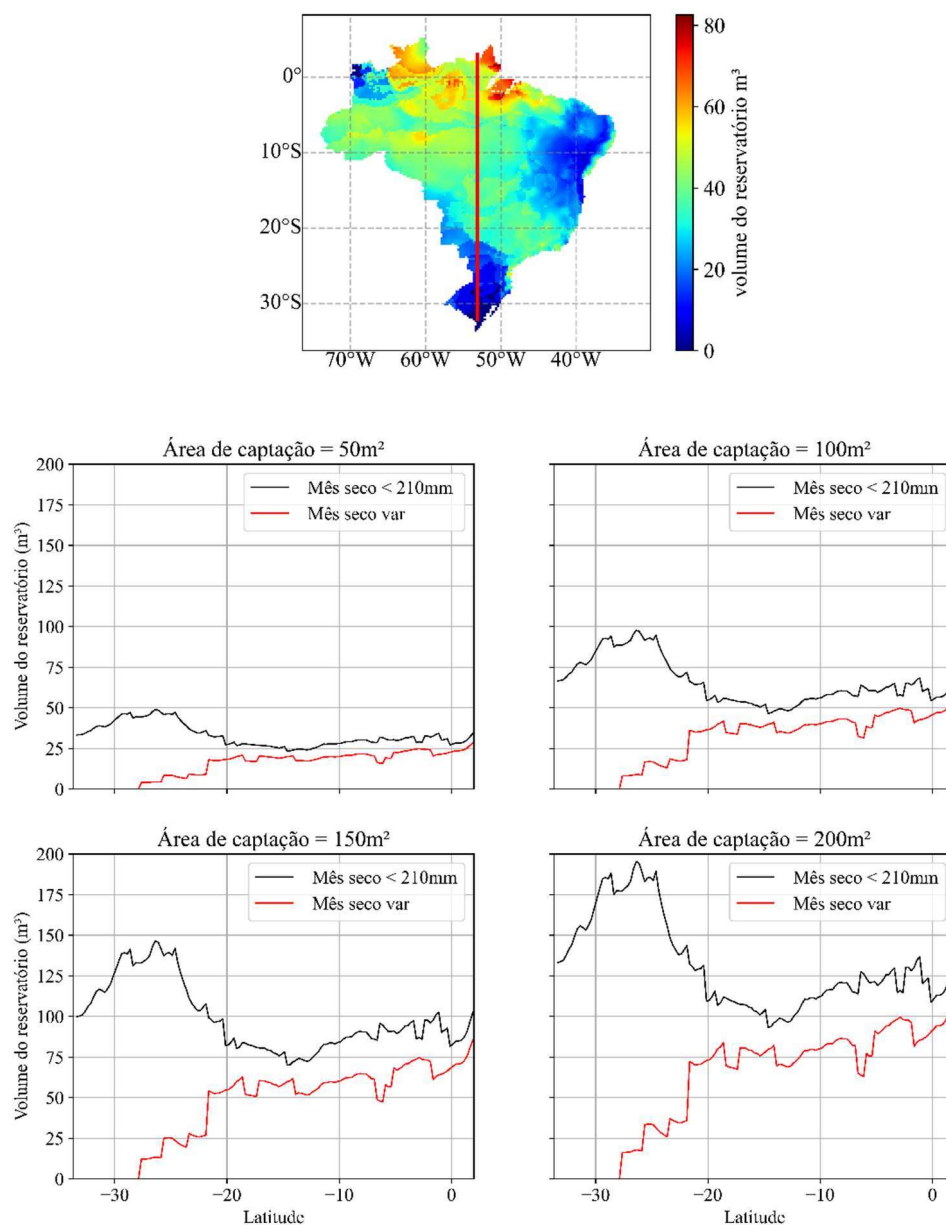


Figura 19 – Mapa com volumes de reservatórios dimensionados pelo método Azevedo Neto para demanda de 200L/dia e área de $100m^2$ com representação de linha na longitude $-53,125$, e volumes dos reservatórios dimensionados para todos os cenários pelo referido método ao longo desta longitude.
(Fonte: Autora, 2023)

Pode-se observar mais detalhadamente, nas figuras 18 e 19, como ocorreu o aumento do volume do reservatório com o incremento de área de captação, sendo em todos os cenários os volumes obtidos através da consideração de meses secos como aqueles em que a precipitação média mensal é inferior a 210mm, superiores. Observa-se ainda, situações em que os reservatórios apresentaram volume igual a zero devido a inexistência de meses secos no local; fenômeno verificado em localidades da região norte onde a precipitação média mensal nunca foi inferior a 80% da precipitação média do mês.

O método de *Rippl*, aplicado aqui para dados mensais (Figura 20) e diários (Figura 22), resultou em maiores volumes para o menor intervalo de discretização dos dados.

Para os dados mensais, em diferentes cenários, o reservatório não pôde ser dimensionado em duas situações: aquelas de ocorrência de alta precipitação, ou seja, nas quais nunca ocorreu déficit dentro do período de dados analisados, e aquela de baixa precipitação, nas quais nunca ocorreu saldo. Para estes casos, considerações adicionais devem ser feitas no dimensionamento, a exemplo de adoção de volume mínimo de reservação ou quantidade mínima de dias de abastecimento, estas considerações, porém, não foram feitas neste trabalho e o volume do reservatório foi admitido como zero.

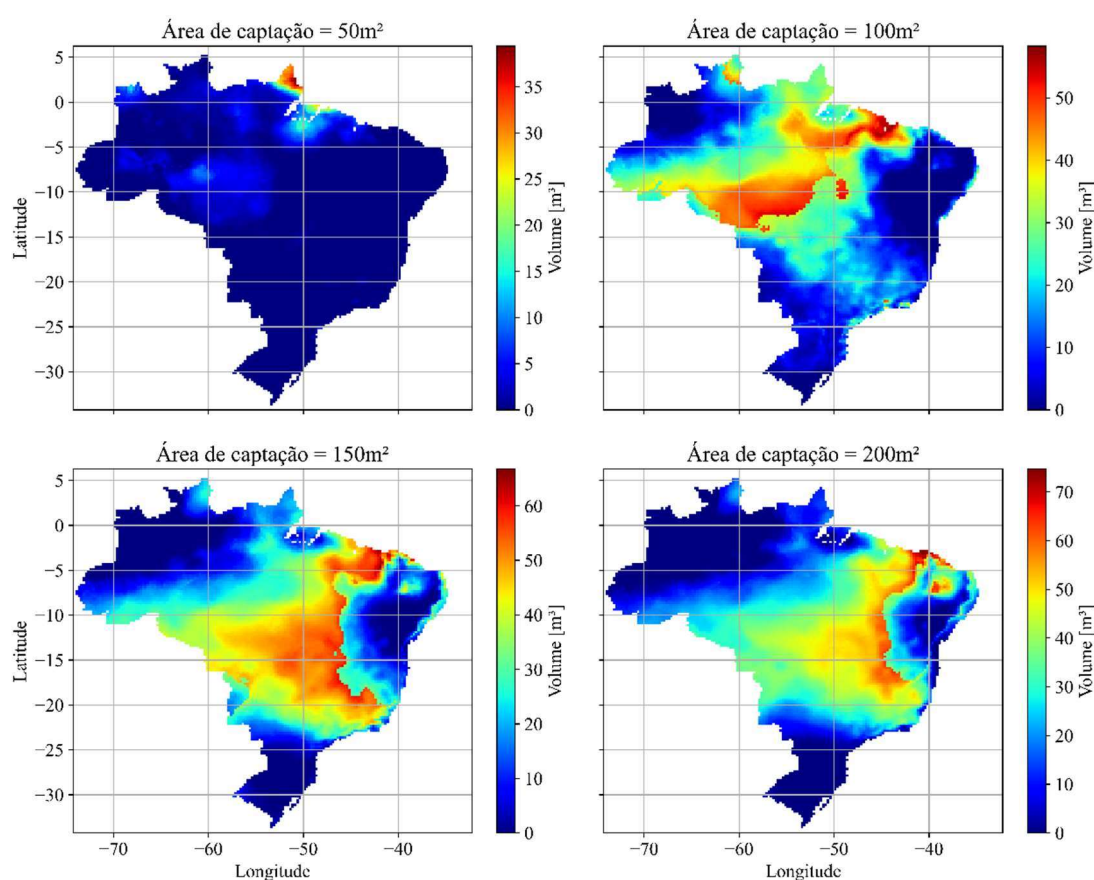


Figura 20 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método *Rippl* com dados em base mensal, para demanda de 400L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Devido às características do balanço hídrico, os volumes de reservatório determinados não variaram de forma linear com o aumento da área e/ou demanda, tendo, por exemplo, a área de captação de 50m² gerado em algumas localidades os maiores volumes de armazenamento para a demanda de 200L/dia.

Esse comportamento é fruto da relação demanda $\times$ oferta de água no balanço hídrico, que levou a menor oferta de água a ser superada pela demanda crescente, gerando a inexistência de saldo a ser armazenado pelo sistema.

Na figura 21 pode-se observar, na representação dos volumes determinados para a latitude $-7,125$, em que os volumes de armazenamento foram crescentes com o aumento da demanda, sendo que para a área de 50m^2 as demandas de 500 e $600\text{L}/\text{dia}$ não permitiram o dimensionamento do reservatório pelo método, com dados mensais, pois ocorreu déficit em todos os meses do ano, no período analisado.

Para as áreas de 150 e 200m^2 , nas menores demandas a oeste da longitude -55 , o volume do reservatório não pôde ser determinado devido a inexistência de déficit, diante da alta oferta de água e da baixa demanda.

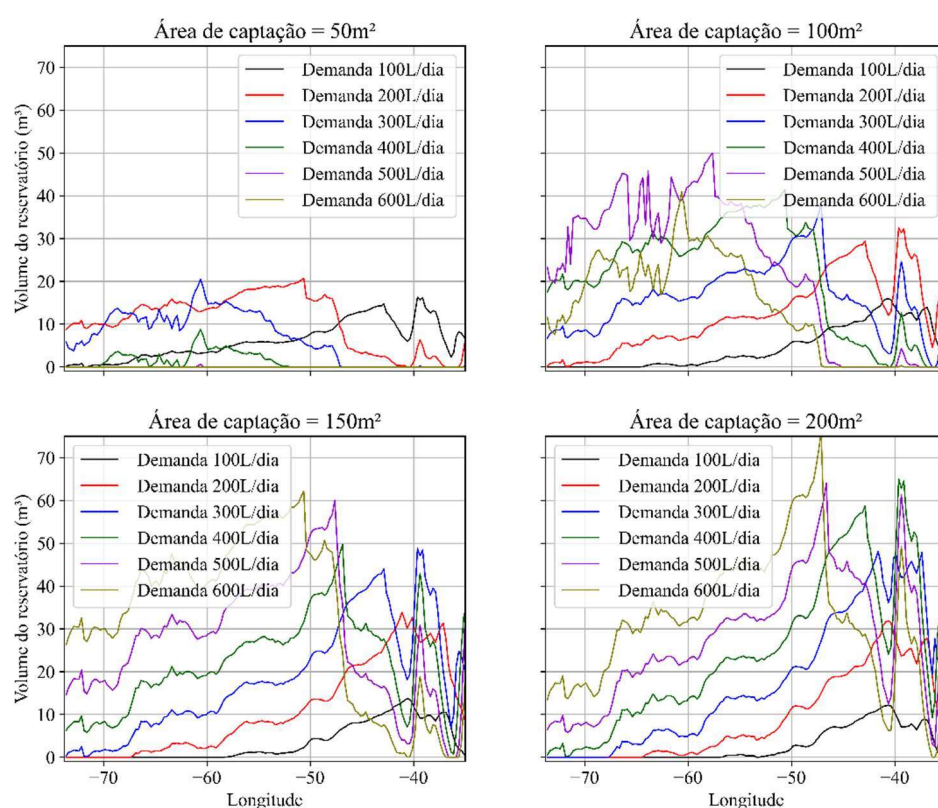


Figura 21 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método *Rippl*, com dados em base mensal, na latitude $-7,125$, para todas as demandas e áreas de captação de 50 , 100 , 150 e 200m^2 , respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Para o método de *Rippl* com dados em base diária e demanda de $100\text{L}/\text{dia}$, ocorreu uma diminuição do volume de armazenamento com o aumento da superfície de captação (Figura 22), devido a diminuição de déficits no balanço hídrico, diante do aumento da oferta de água no sistema, principalmente na região mais seca do país.

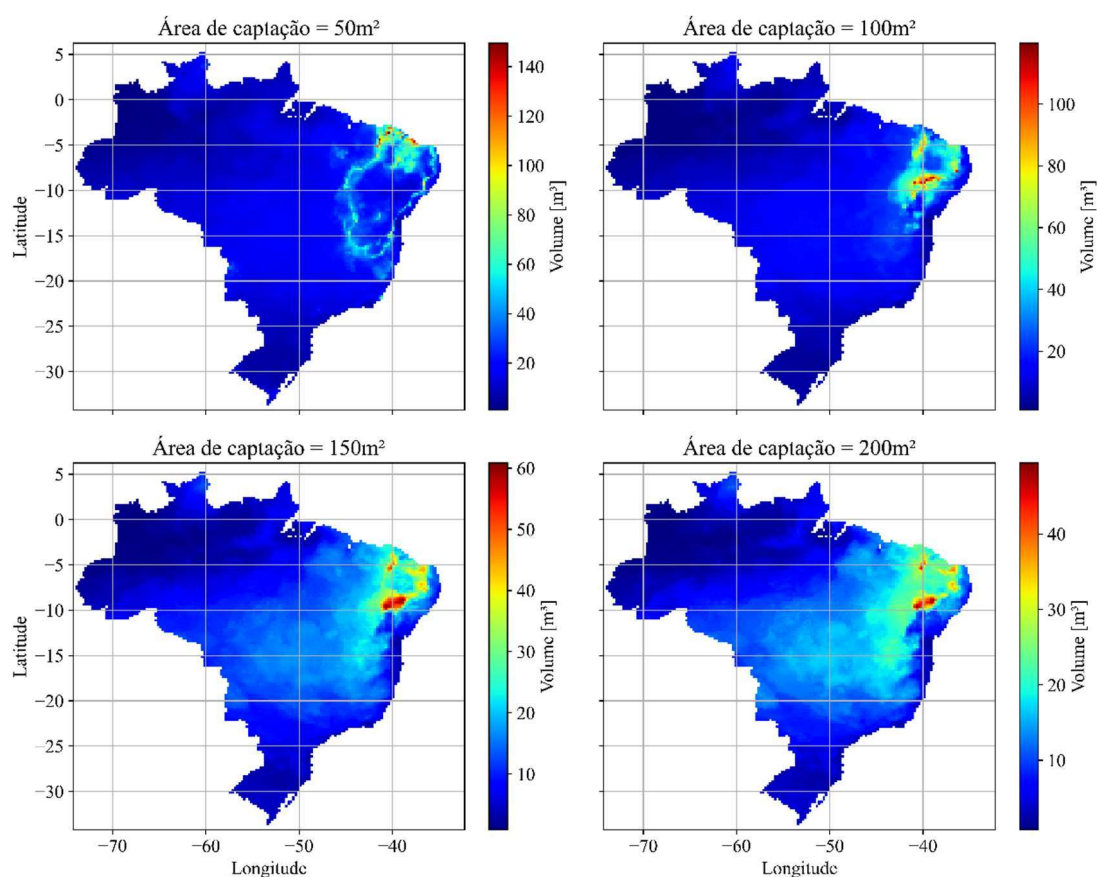


Figura 22 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método *Rippl* com dados em base diária, para demanda de 100L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Entretanto, o mesmo comportamento não foi observado para outras demandas (Figura 23), visto que o aumento da retirada de água do sistema, para uma mesma localidade, levou a mudança de armazenamento do saldo para armazenamento do déficit, podendo este ser maior ou menor para uma área de captação inferior, a depender das características pluviométricas da região.

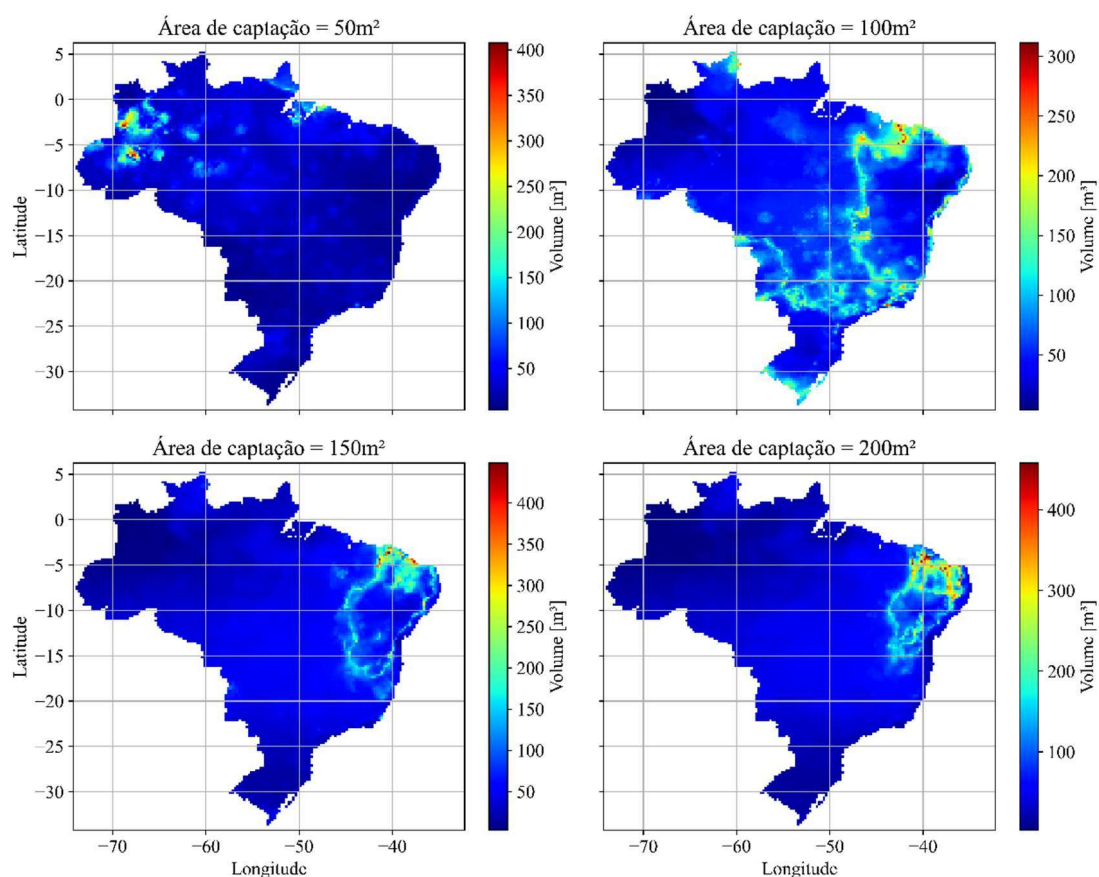


Figura 23 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método *Rippl* com dados em base diária, para demanda de 300L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Para regiões com chuvas mais abundantes a variação da área pouco afetou o volume dimensionado, mostrando que para uma demanda fixa o incremento de área de captação tem menor influência no volume de armazenamento (Figura 24).

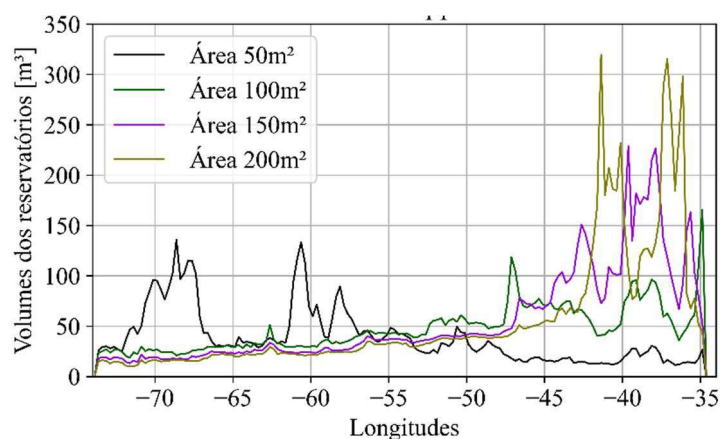


Figura 24 – Volumes dos reservatórios dimensionados pelo método *Rippl* com dados em base diária na latitude -7,125, para demanda de 300L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

5.2 – Volume de água aproveitável

O volume de água aproveitável, em um ciclo anual, se mostrou completamente influenciável pelas variáveis utilizadas no dimensionamento do reservatório, área de captação e demanda, tendo, porém, valores próximos para diferentes métodos em mesmo cenário (Figura 25).

Em todos os métodos aplicados o volume tendeu a um valor máximo uniforme, sendo maiores variações percebidas apenas na região mais seca do país, onde a área de captação adotada influenciou diretamente no método que proporcionou maior volume aproveitável.

Pode-se observar na figura 25, que fora da região mais seca, e área de 50m², o método de *Rippl* com dados diários foi o que proporcionou maior volume aproveitável, fenômeno que não se repetiu para as demais áreas, onde os métodos Azevedo Neto foram aqueles que sobressaíram.

No caso do método de *Rippl* uma menor área levou a um baixo suprimento de água no sistema, superado pelo consumo, levando ao armazenamento de todo saldo disponível na região, logo, a um reservatório que não sofreria eventos de transbordamento, e dessa forma teria o maior armazenamento no cenário, que poderia ser igualado por outros métodos, mas jamais ultrapassado.

Já o método de *Rippl* com dados mensais foi o que predominantemente gerou os menores volumes aproveitáveis, para áreas maiores que 100m², inclusive igual a zero nas localidades onde o reservatório não pôde ser dimensionado.

Nestes cenários quanto maiores foram as áreas de captação, menores foram os volumes de água aproveitáveis, pois a baixa demanda considerada, 100L/dia, levou a volumes de reservatório que pouco variaram com o aumento da captação, uma vez que a reserva de água consistiu apenas no déficit acumulado, que teve baixa oscilação diante da demanda fixa, logo, o incremento de área ao sistema não correspondeu a um melhor aproveitamento, mas sim a excesso que foi extravasado.

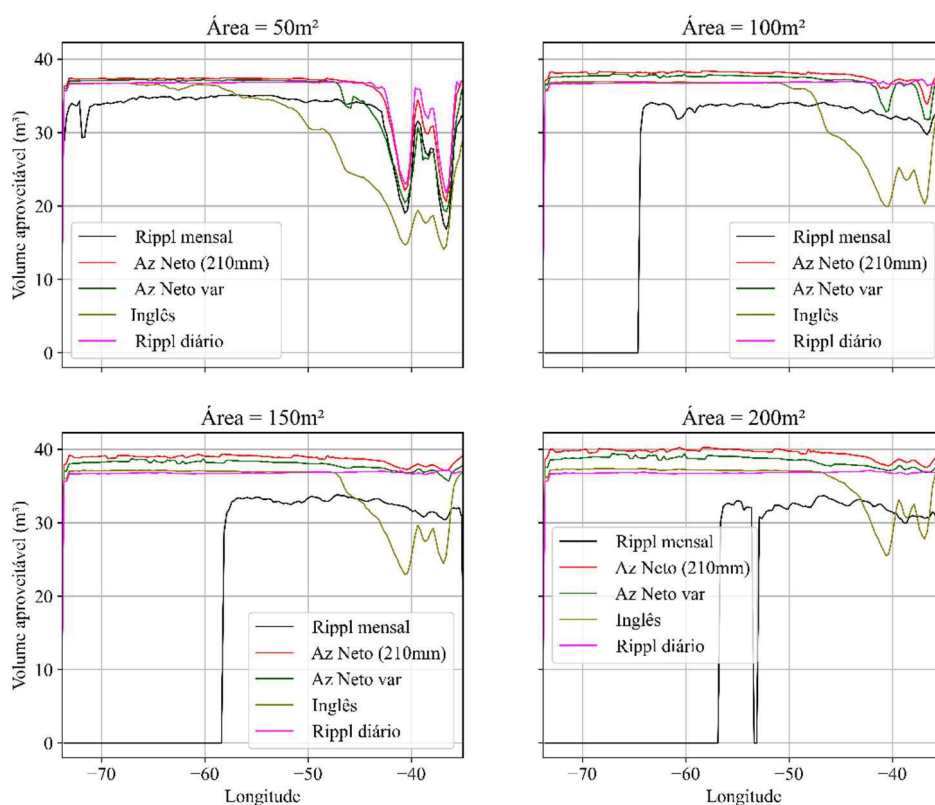


Figura 25– Volumes aproveitáveis calculados para reservatórios dimensionados por todos os métodos aqui considerados, na latitude -7,125, para demanda de 100L/dia e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Volumes aproveitáveis iguais a zero ocorreram em todos os cenários para o método de *Rippl* com dados mensais (Figura 26), principalmente na região mais chuvosa e área de 50m², onde o baixo suprimento de água não permitiu a ocorrência de saldos para as demandas de 500 e 600L/dia.

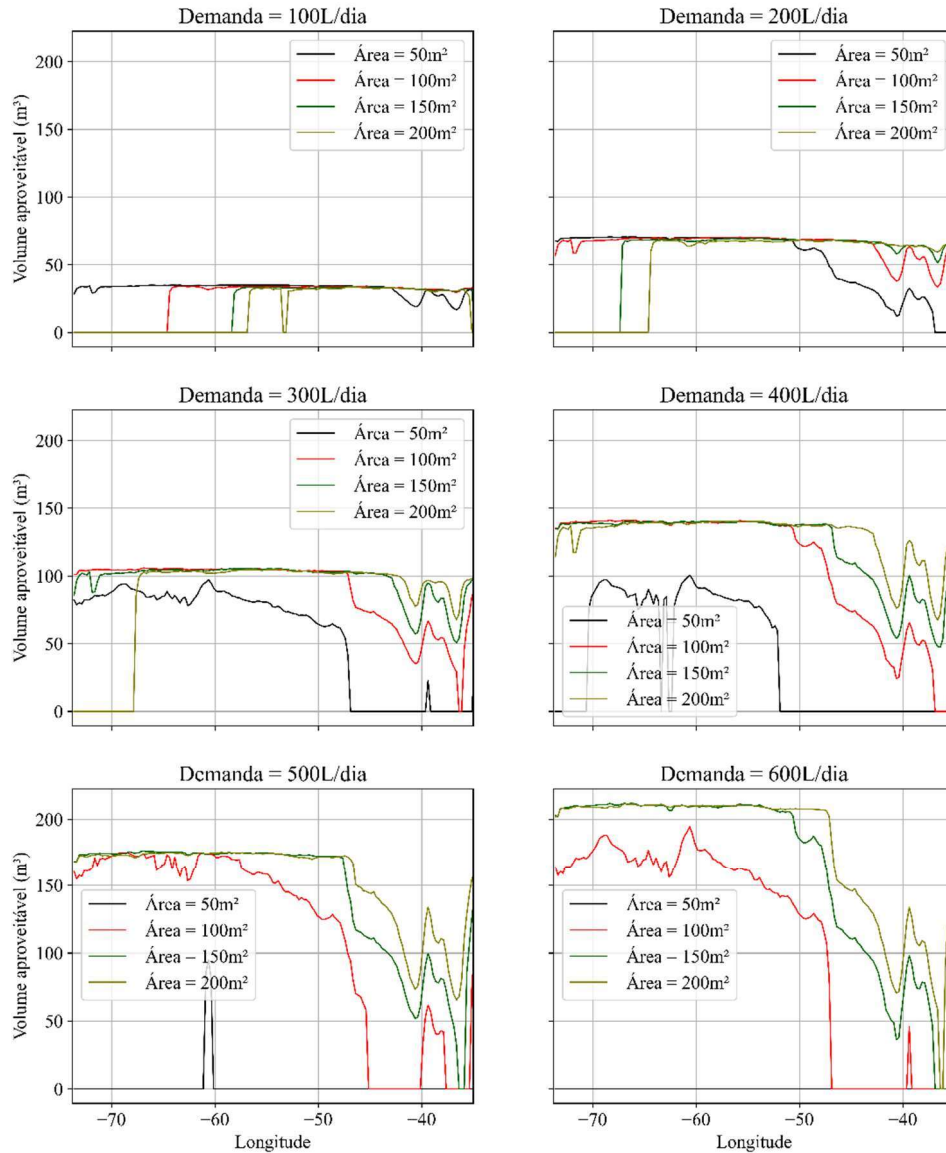


Figura 26 – Volumes aproveitáveis calculados pelo método de *Rippl* com dados em base mensal, na latitude -7,125, para demandas de 100, 200, 300, 400, 500 e 600L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Para os dados em base diária, o método de *Rippl* levou a maiores variações na amplitude do volume de água aproveitável nos cenários com demandas de 500 e 600L/dia e áreas de 50 e 100m² (Figura 27).

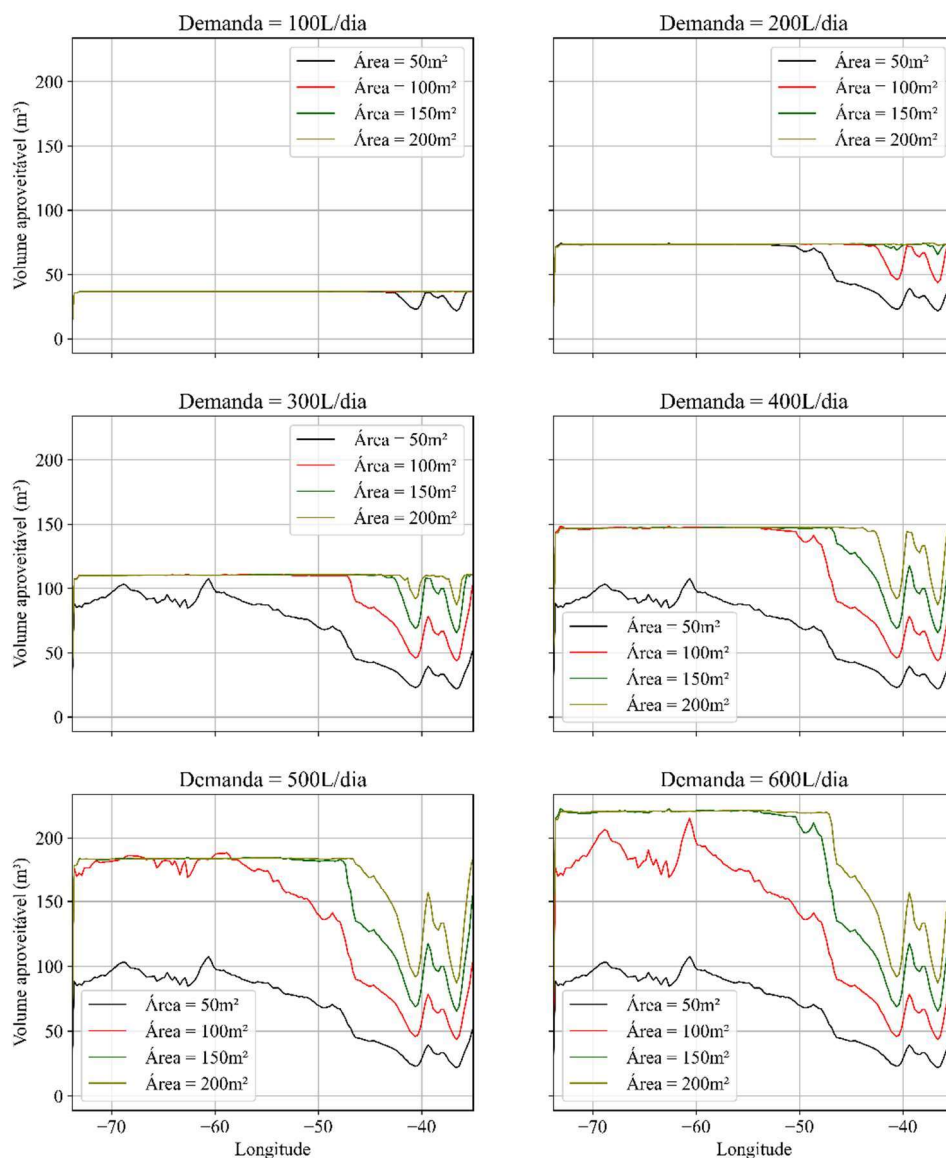


Figura 27 – Volumes aproveitáveis calculados pelo método de *Rippl* com dados em base diária, na latitude -7,125, para demandas de 100, 200, 300, 400, 500 e 600L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

No caso do método Inglês o volume foi crescente com o aumento das áreas e das demandas, sendo este aumento mais evidente conforme maior foi a demanda (Figura 28). A variação diretamente proporcional do volume de armazenamento às variáveis, área e demanda, observado, justifica esse comportamento, uma vez que o método não é baseado em um balanço, espera-se que o seu volume trasbordado tenha comportamento semelhante conforme demonstrado na figura 29.

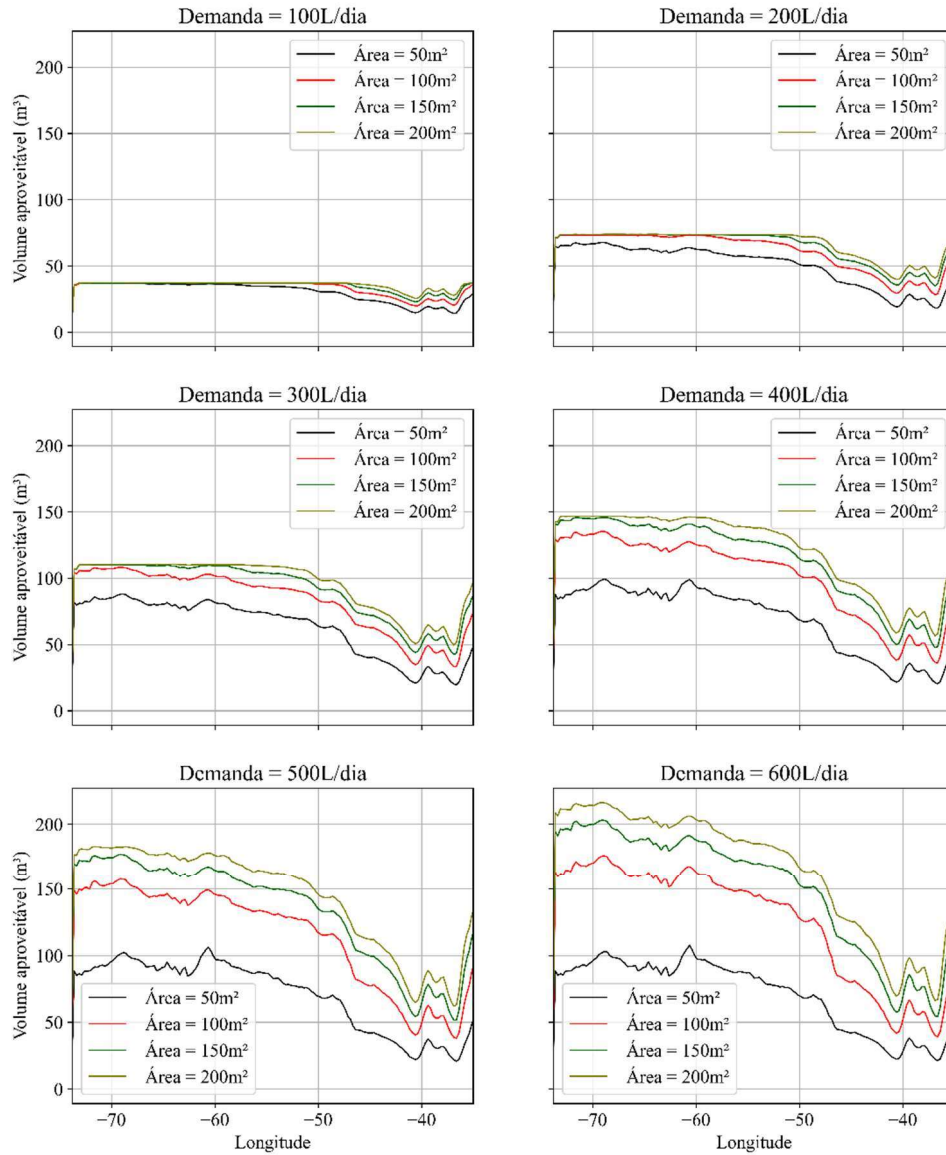


Figura 28 – Volumes aproveitáveis calculados pelo método Inglês, na latitude -7,125, para demandas de 100, 200, 300, 400, 500 e 600L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

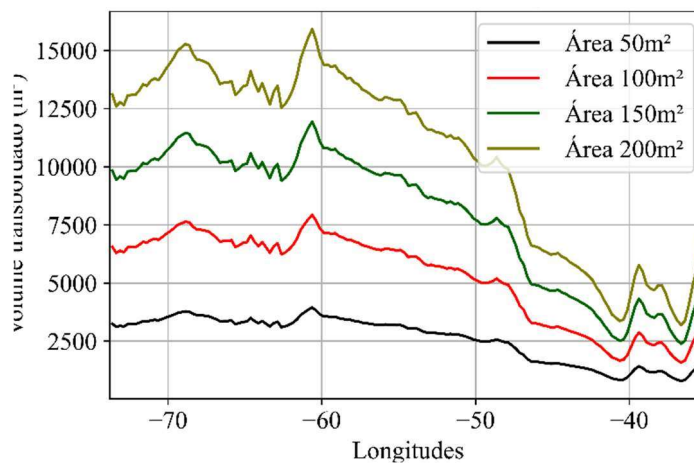


Figura 29 – Volumes transbordados calculados pelo método Inglês, na latitude -7,125, para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

O método Azevedo Neto, nas duas aplicações metodológicas para contabilização dos meses secos (Figuras 30 e 31), geraram volumes aproveitáveis próximos com pouca variação com a mudança da área, e demanda constante. Tendo as variações para as demandas de 500 e 600L/dia de maior amplitude, para as áreas de 50 e 100m², situação decorrente da baixa entrada de água no sistema, incapaz de suprir uma alta demanda.

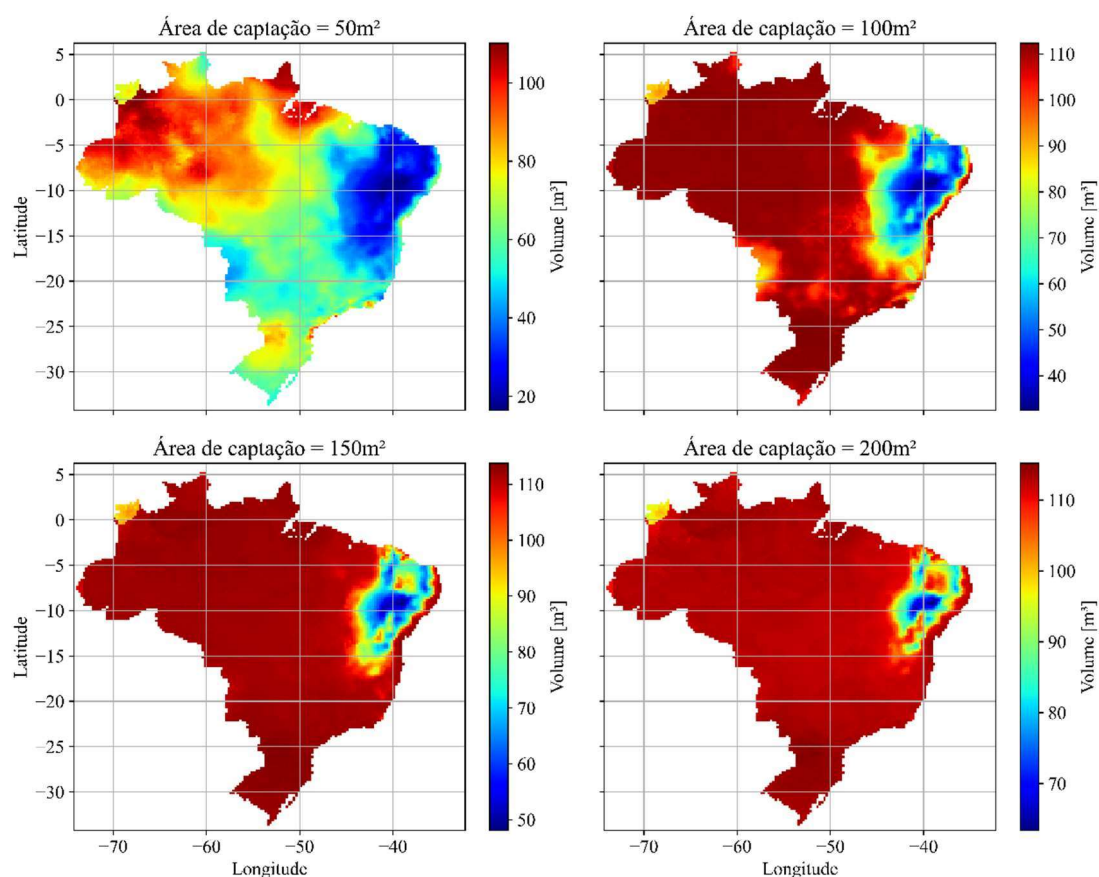


Figura 30 – Volumes aproveitáveis calculados pelo método Azevedo Neto, para mês seco como aquele onde precipitação média mensal < 210mm, para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

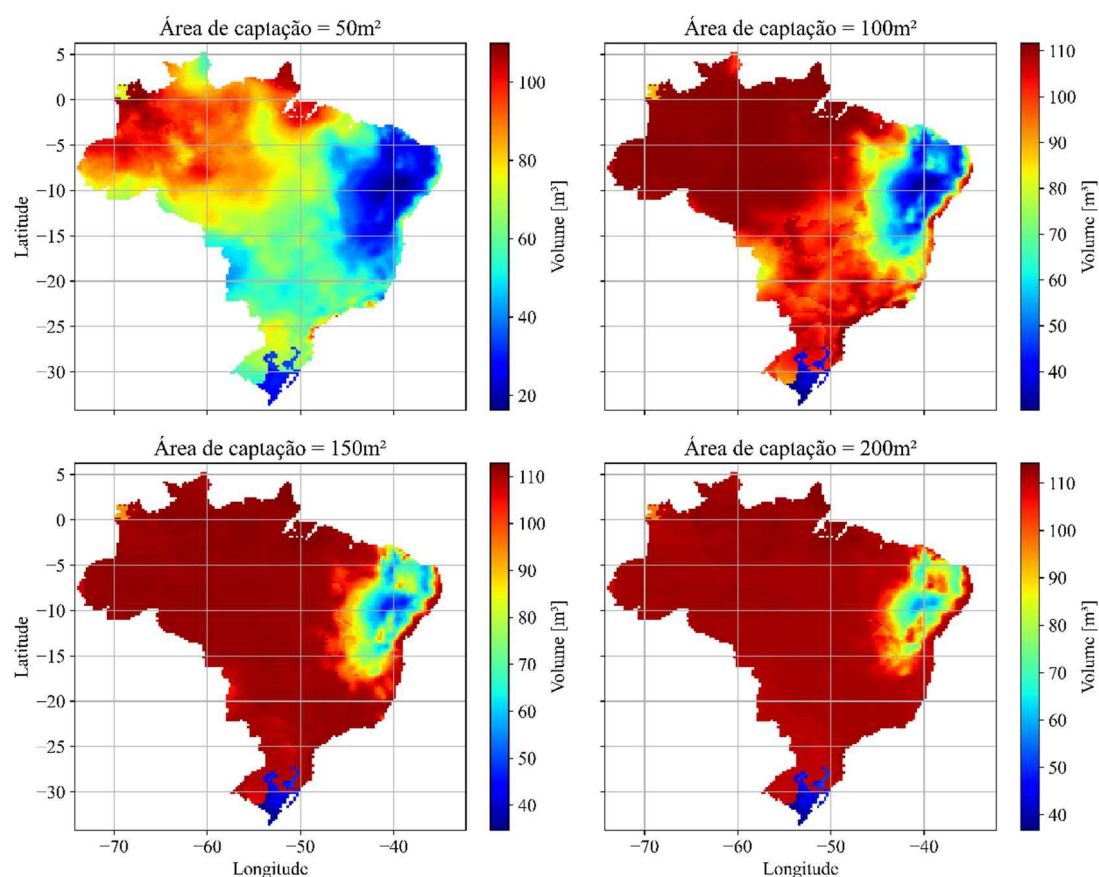


Figura 31 – Volumes aproveitáveis calculados pelo método Azevedo Neto, considerando limiar de mês seco baseado na média mensal de cada localidade, para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

5.3 – Coeficiente de Eficiência Volumétrica (CEV)

O CEV, calculado pela razão entre o volume de água aproveitável e o volume de armazenamento, apresentou comportamentos distintos entre os métodos de dimensionamento de reservatórios considerados.

Para a demanda de 100L/dia os métodos práticos, Inglês (Figura 32) e Azevedo Neto (Figuras 33 e 34), apresentaram queda nos valores com o aumento das áreas de captação, sugerindo que o aumento da área não gera um aumento expressivo num volume de água aproveitável pelo sistema, diante do aumento do volume do reservatório.

Entre os métodos práticos, o método Inglês (Figura 32) foi o que apresentou os maiores valores de CEV, consequência dos menores volumes de reservatórios dimensionados pelo método.

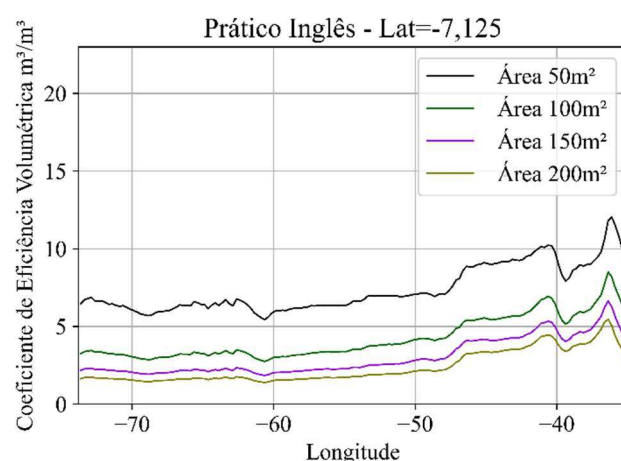


Figura 32 – CEVs calculados para o método prático Inglês, na latitude -7,125, para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

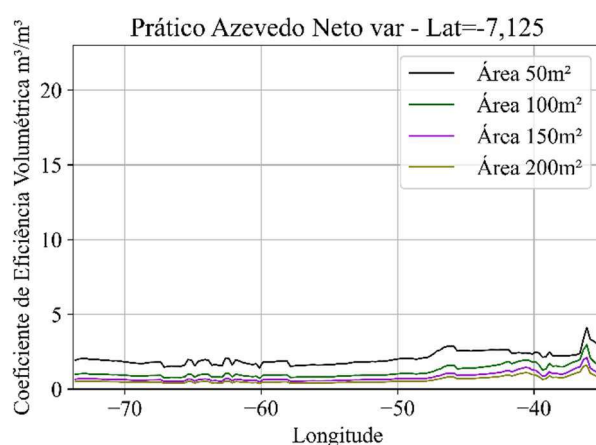


Figura 33 – CEVs calculados para o método prático Azevedo Neto, com contabilização de mês seco baseado nas médias mensais da precipitação local, na latitude -7,125, para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

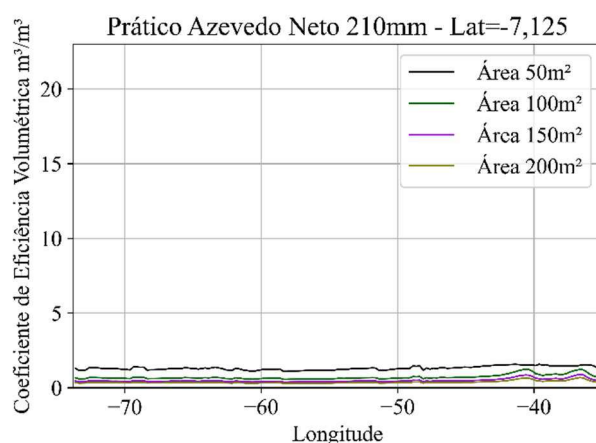


Figura 34 – CEVs calculados para o método prático Azevedo Neto, com contabilização de mês seco baseado no limiar de 210mm mensais, na latitude -7,125, para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Para os balanços hídricos, *Rippl* mensal e diário, os cenários cuja demanda considerada foi de 100L/dia, tiveram valores de CEV crescentes com o aumento da área, tendo valores maiores nas regiões mais chuvosas. Como pode ser observado na figura 35, os maiores valores, para estes cenários, foram encontrados na região Norte, enquanto os menores no interior da região Nordeste, mostrando crescimento com a aproximação de regiões com maiores precipitações.

Para o método de *Rippl* diário com demanda de 100L/dia, nas áreas a partir de 100m² os valores encontrados superaram os três métodos práticos considerados. Porém, o aumento da demanda fez este comportamento mudar, principalmente a partir da demanda de 300L/dia.

Na demanda de 200L/dia, houve uma queda nos valores de CEV em comparação com os calculados para demanda de 100L/dia, ocorrendo, entretanto, o mesmo comportamento de aumento do coeficiente com o aumento da área de captação.

Quando a demanda considerada passou a ser de 300L/dia, os maiores valores encontrados, para a região mais seca do país, foram para a área de 50m² (Figura 36). A extensão dessa área, onde maiores valores foram calculados para 50m² de captação, cresce com aumento da demanda, tornando-se prevalente a partir de 500L/dia. A área de 100m² começou a apresentar comportamento semelhantes, porém restrito ao semiárido, a partir de 400L/dia, e ainda em valores inferiores aos encontrados para 50m².

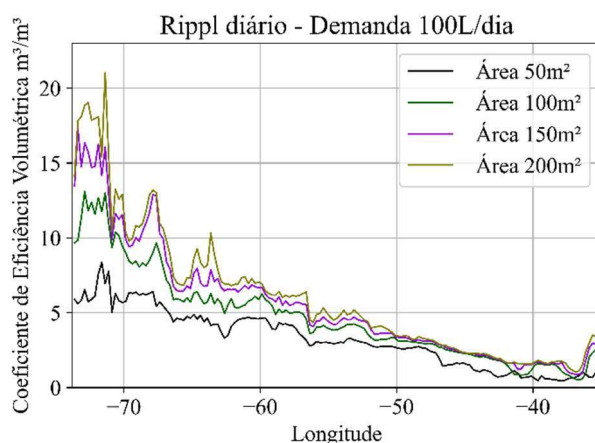


Figura 35 – CEVs calculados para o método de *Rippl* com dados diários, na latitude -7,125, para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

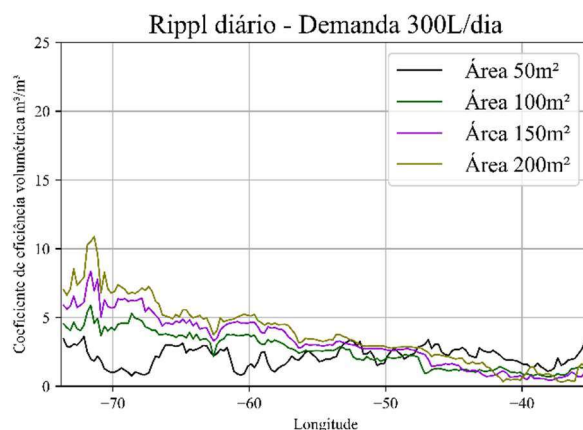


Figura 36 – CEVs calculados para o método de *Rippl* com dados diários, na latitude -7,125, para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Essa variabilidade vista é decorrente da discrepância entre a entrada e saída de água no sistema, pois o aumento da demanda com uma baixa entrada leva ao dimensionamento considerando o volume de armazenamento de todo o excedente de água disponível, ou seja, anulando a possibilidade de perda de água por transbordamento, o que maximizou o volume de água aproveitável pelo sistema.

Já para as áreas de 150 e 200m² o comportamento foi o mesmo que o verificado para demanda de 100L/dia, pois o volume de água que entrou nos sistemas não foi superado nem para as maiores demandas, exceto na região mais seca, levando ao armazenamento apenas da água necessária para suprimento dos déficits de abastecimento, logo com volume transbordado diferente de zero.

Para os métodos práticos ocorreu aumento dos valores de CEV com aumento da demanda, comportamento esperado uma vez que para o método Azevedo Neto (Figuras 37 e 38) a demanda não teve influência no volume de armazenamento dimensionado, enquanto o volume aproveitável foi crescente com o aumento da área de captação e demanda.

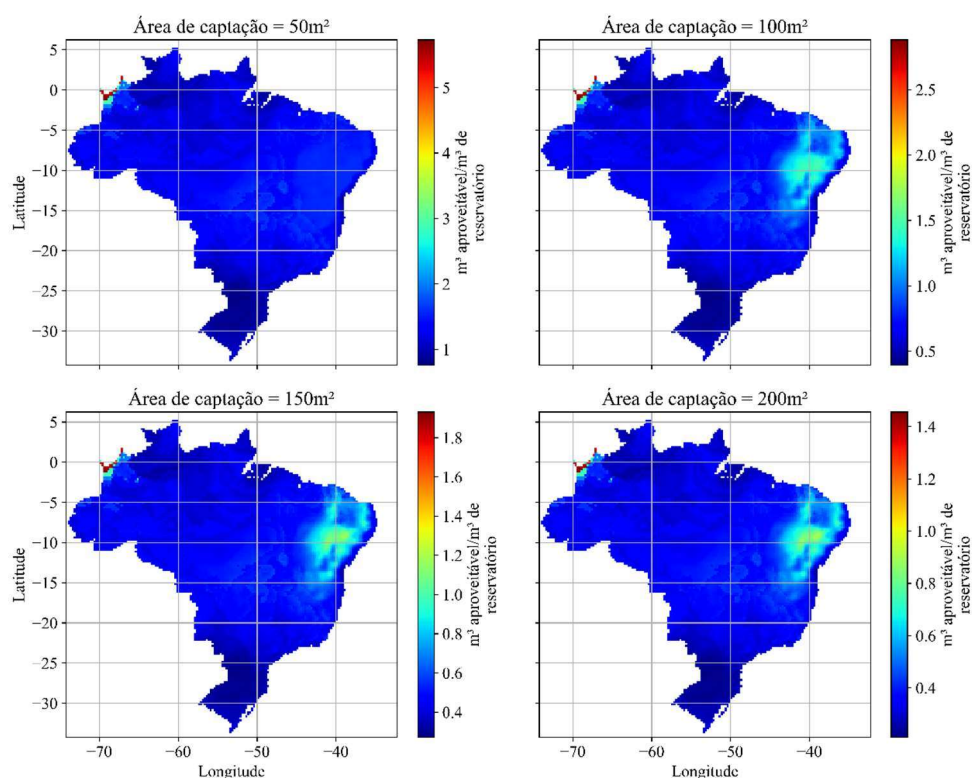


Figura 37 – CEVs calculados pelo método Azevedo Neto, considerando limiar de mês seco baseado de 210mm mensais para cada localidade, para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200 m^2 , respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

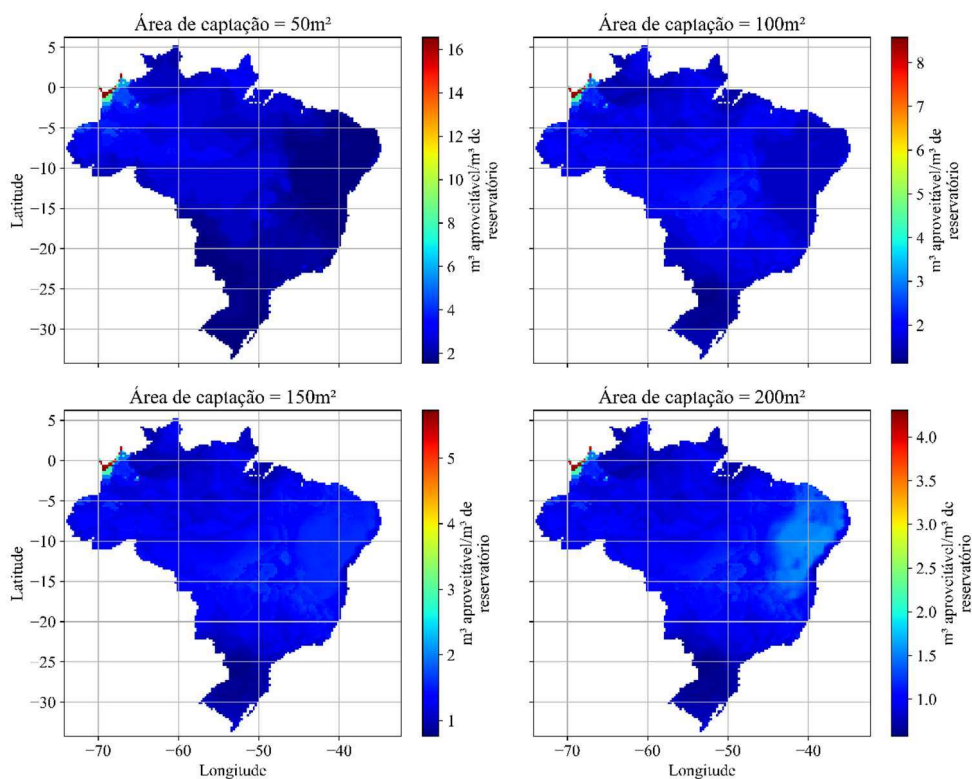


Figura 38 – CEVs calculados pelo método Azevedo Neto, considerando limiar de mês seco baseado de 210mm mensais para cada localidade, para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200 m^2 , respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Já o método Inglês (Figuras 39 e 40), teve maiores CEVs para as menores áreas, sugerindo que o crescimento dos parâmetros volume aproveitável e volume de armazenamento não ocorreu na mesma proporção, sendo o aumento do volume do reservatório mais expressivo com o aumento da área de captação.

Neste método o CEV tendeu a um valor máximo em todo o território nacional, independentemente da precipitação média anual, mostrando que uma alta demanda, que não influenciou no volume do reservatório dimensionado, irá limitar o volume máximo de água aproveitável, pois, pequenos reservatórios terão baixo tempo de volume ocioso, mesmo em regiões mais secas.

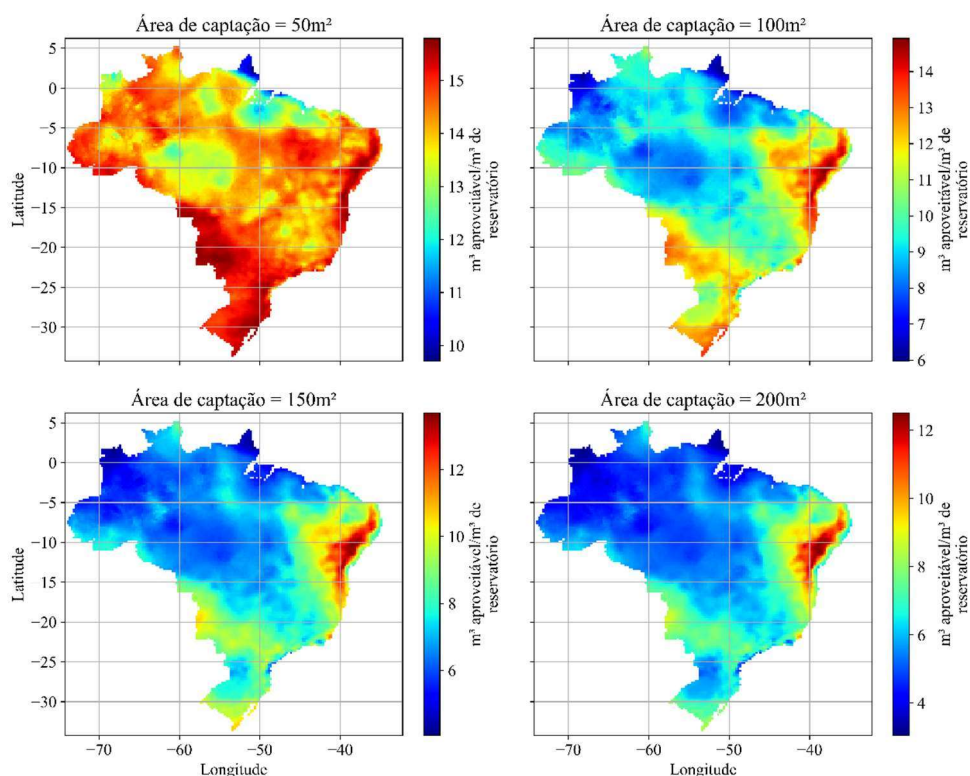


Figura 39 – CEVs calculados pelo método prático Inglês, para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

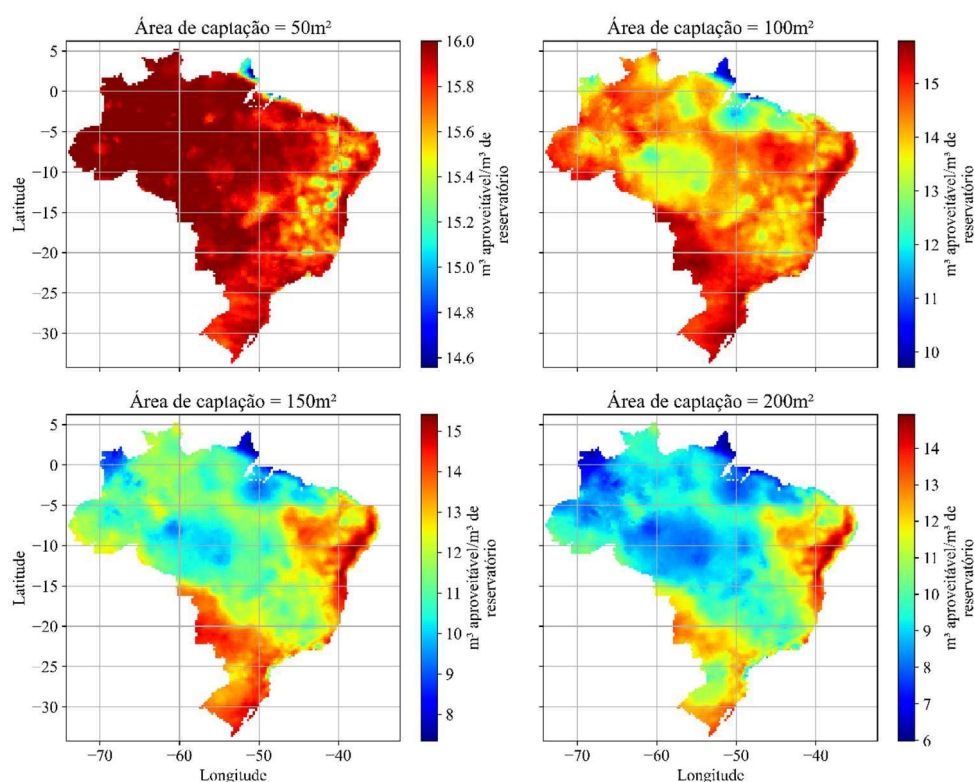


Figura 40 – CEVs calculados pelo método prático Inglês, para demanda de 600L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Analisando comparativamente os valores de CEV, pôde-se determinar qual método gerou maiores valores em cada cenário considerado. E conforme pode ser observado na figura 41, para a demanda de 100L/dia, em todos os cenários de área de captação considerados, cada método de dimensionamento se mostra melhor em algum cenário.

O método Azevedo Neto, com limiar de mês seco fixo em 210mm mensais, foi o que resultou numa menor ocorrência de valores máximos de CEV, ficando restrito a uma pequena região no estado do Amazonas, sendo esta localidade a que apresentou maior precipitação média anual no estado, associada ainda a uma baixa variabilidade. Dessa forma, o reservatório operou majoritariamente cheio, e consequentemente num alto volume de água aproveitável.

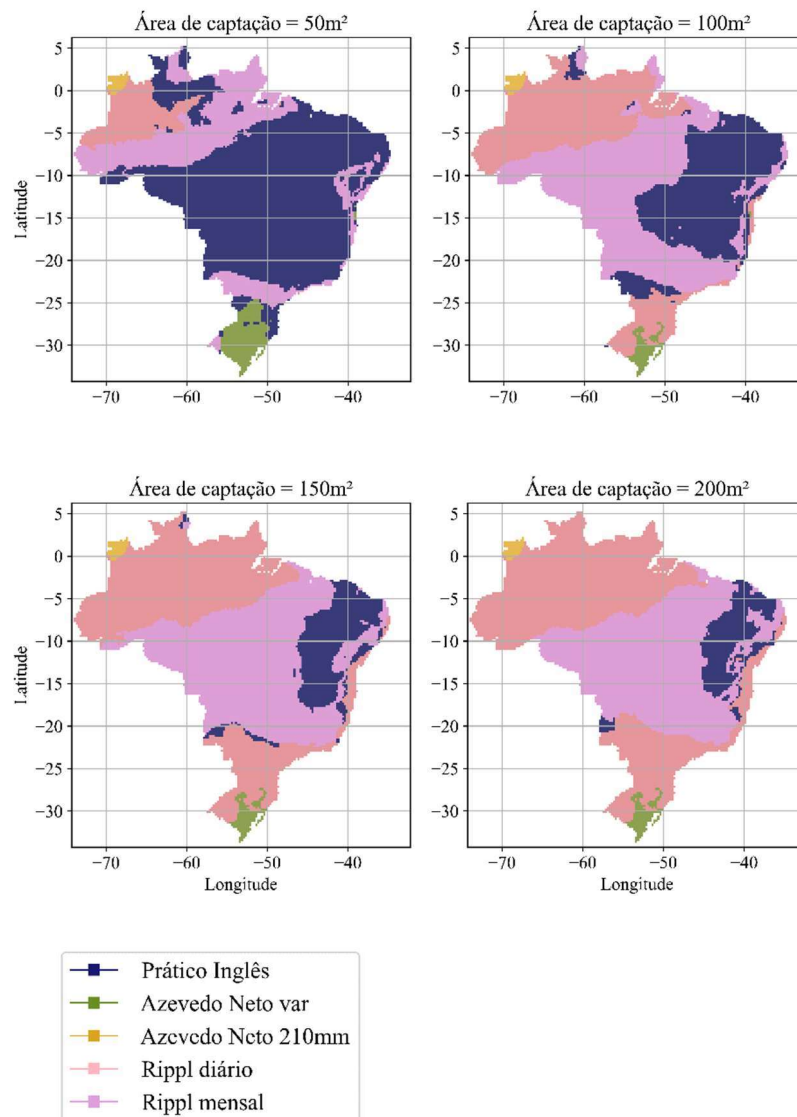


Figura 41 – Método que resulta em CEVs máximo para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Conforme a área de captação aumentou, a extensão territorial cujo método gerou os maiores CEV pelo método de *Rippl* com dados diários também cresceu, deixando de se concentrar na região norte, e passando a apresentar melhores valores para a região sul, sudeste e litoral do país. Donde pode-se intuir que a baixa saída de água, em comparação a entrada crescente, levou ao dimensionamento de reservatórios para suprimento do déficit, logo volumes de armazenamento que mesmo permitindo eventos de transbordamento, ainda proporcionariam um bom fornecimento de água da chuva.

As regiões que associaram menor precipitação com maior variabilidade temporal da chuva tiveram melhores CEVs naqueles calculados pelos métodos *Rippl* com dados mensais ou Inglês.

O método Inglês foi o mais representativo para a menor área, levando a concluir que num sistema com baixa entrada e baixa saída de água, reservatórios com menores volumes resultarão num maior aproveitamento de água por m³ de reservatório construído. Conforme a entrada de água cresce, devido aumento da área de captação, apenas a região do semiárido, mais seca do país, continua com a mesma lógica de funcionamento, pois o consequente incremento de água no sistema fez o método de *Rippl* com dados mensais apresentar os melhores resultados na maior parte do país.

O método Azevedo Neto, com limiar de mês seco calculado a partir da média mensal de cada localidade, teve seus melhores resultados restritos a região Sul, especificamente nas localidades que tiveram os menores volumes de reservatório dimensionado pelo método.

Com o aumento da demanda para 200L/dia (Figura 42) o método Inglês passou a apresentar melhores resultados de CEV em maior parte do país, em comparação com os demais métodos de dimensionamento de reservatórios, principalmente para os cenários de 50 e 100m². Nestes casos o aumento da saída de água reduziu a ocorrência de transbordamentos no sistema, levando os reservatórios menores a operarem cheios por mais tempo, e consequentemente terem um maior volume aproveitável por m³ construído.

Já o litoral do país, que para a demanda de 100L/dia apresentou melhores valores com o método de *Rippl* com dados diários, passou a ter melhores CEVs para os dados mensais a partir da área de 100m², levando a concluir que uma maior saída de água minimiza a importância da consideração dos picos de precipitação, podendo as médias mensais serem aplicadas no dimensionamento dos reservatórios.

O método *Rippl* diário concentrou seus melhores coeficientes nas regiões Norte e Sul, que possuem maiores precipitações anuais e menores variabilidades temporais da chuva, enquanto as regiões de ocorrência dos métodos Azevedo Neto, Norte e Sul, pouco variaram em com a alteração da demanda para valores maiores.

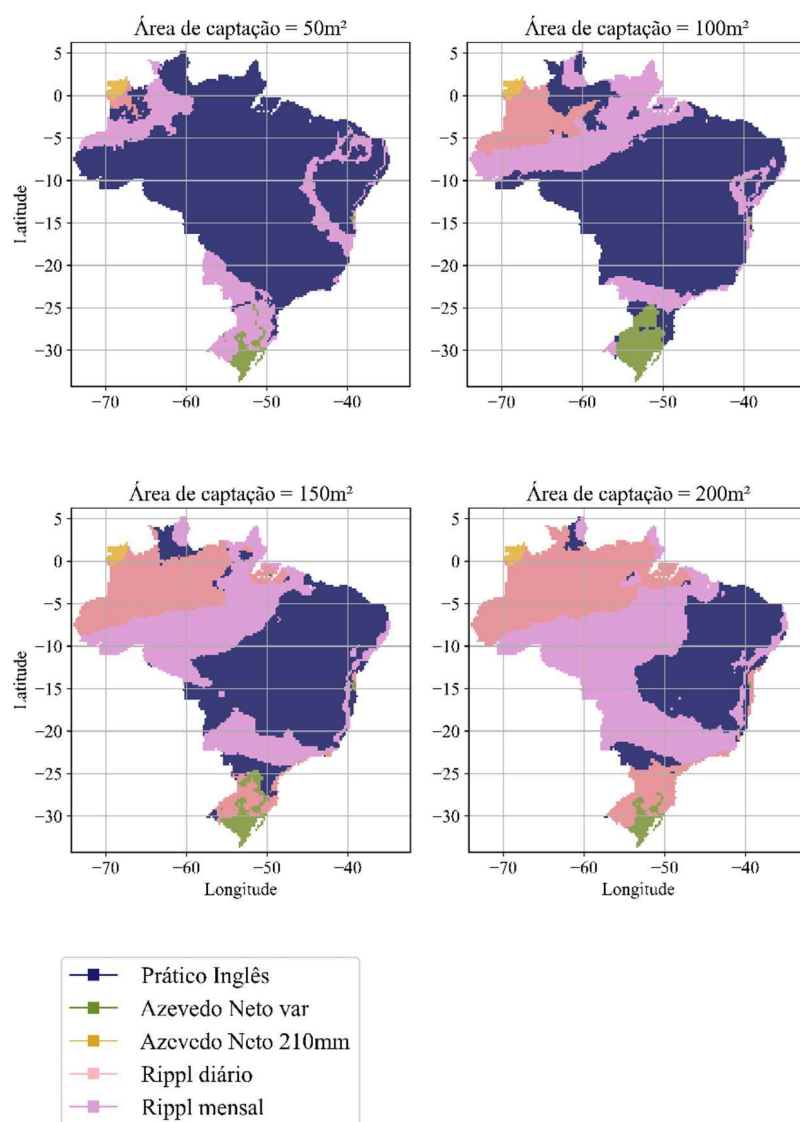


Figura 42 – Método que resulta em CEV máximo para demanda de 200L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Este comportamento, de aumento de localidades onde o método Inglês apresentou melhores resultados com aumento da área de captação, foi observado para as demais demandas consideradas, visto que quanto maior a demanda considerada mais prevalente foi a ocorrência de melhores CEVs para o método, principalmente para as áreas de 150 e 200m².

Como pode ser observado nas figuras 43 a 46 os reservatórios dimensionados pelo método Inglês foram os que proporcionaram melhores resultados de coeficientes para toda a região Centro-Oeste, além da maior parte do território do Sudeste, Nordeste, e ainda, em menores extensões, no Norte e Sul do país, sugerindo que o aumento da saída de água do sistema proporcionou um maior aproveitamento do volume útil de

armazenamento, visto que o aumento da área de captação levou a um crescimento dos reservatórios, mas numa magnitude menor que o de volume de água aproveitável.

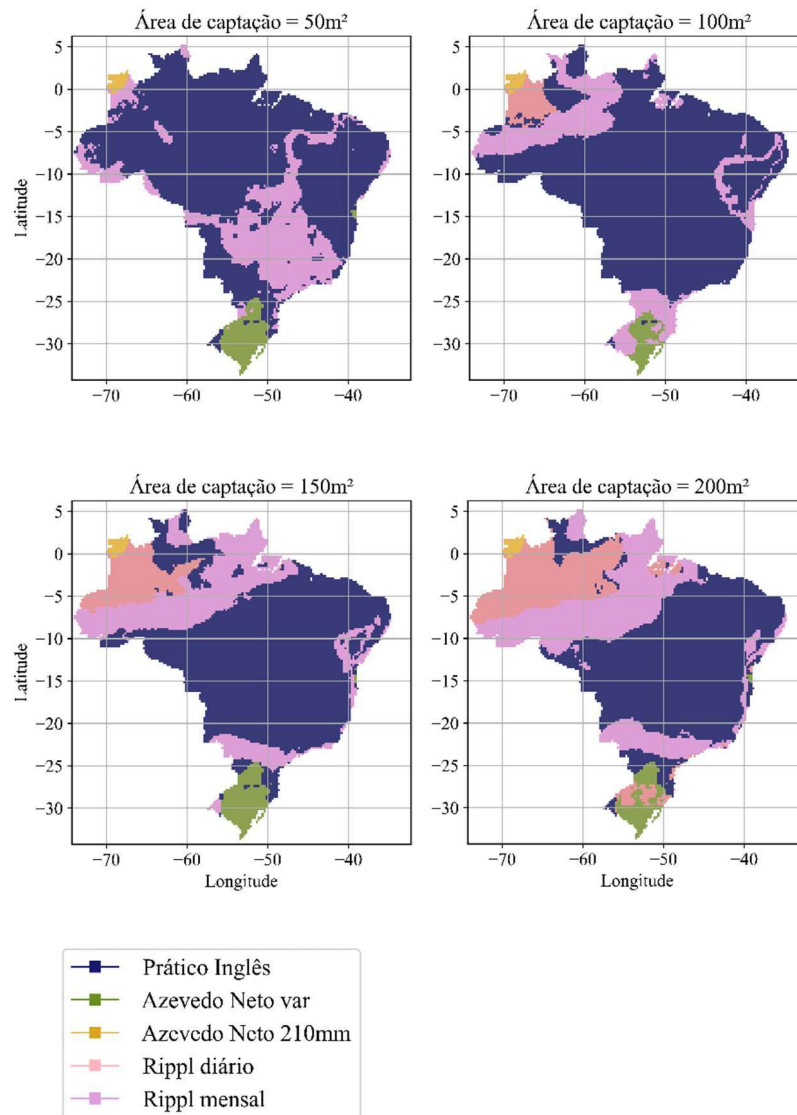


Figura 43 – Método que resulta em CEV máximo para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

A concentração do método de *Rippl* diário para as regiões Norte e Sul, e ocorrência de melhores valores de CEV para *Rippl* mensal no litoral, é uma tendência observada para as demandas de 300L/dia (Figura 43), 400L/dia (Figura 44), e 500L/dia (Figura 45).

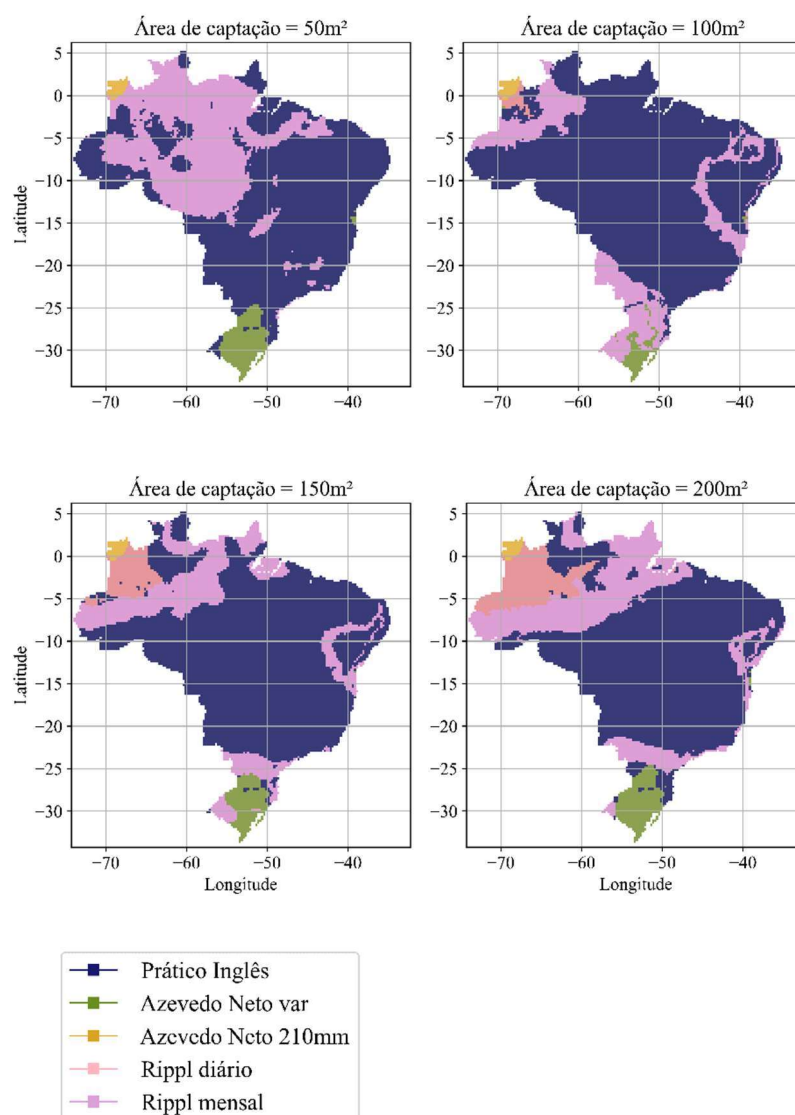


Figura 44 – CEVs máximos para demanda de 400L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

O método com dados diários resultou em melhores coeficientes principalmente para as maiores áreas de captação, não ocorrendo para a área de 50m² e demanda de 400L/dia (Figura 44), e para a área de 100m² e demanda de 500L/dia (Figura 45). Os locais de ocorrência foram aqueles onde a precipitação média anual é superior a 2000mm anuais, e com baixa variabilidade mensal da precipitação, logo, os balanços hídricos diários proporcionaram os melhores coeficientes em situações em que um alto volume de água está disponível para o sistema, diante da precipitação e da área de captação, e para atendimento de altas demandas.

Para a área de 50m² de demanda de 500L/dia (Figura 45) o método de *Rippl* diário proporcionou os melhores CEVs em localidades na região Norte, mas de forma mais dispersa, que se torna mais expressiva para a área de 50m² e demanda de 600L/dia (Figura

46). Nestes casos a alta saída de água do sistema levou os reservatórios a serem dimensionados para armazenamento de todo o saldo disponível, em alguns locais, e o volume aproveitável cresceu, em comparação aos outros métodos, dado que o reservatório foi grande o suficiente para não permitir transbordamentos.

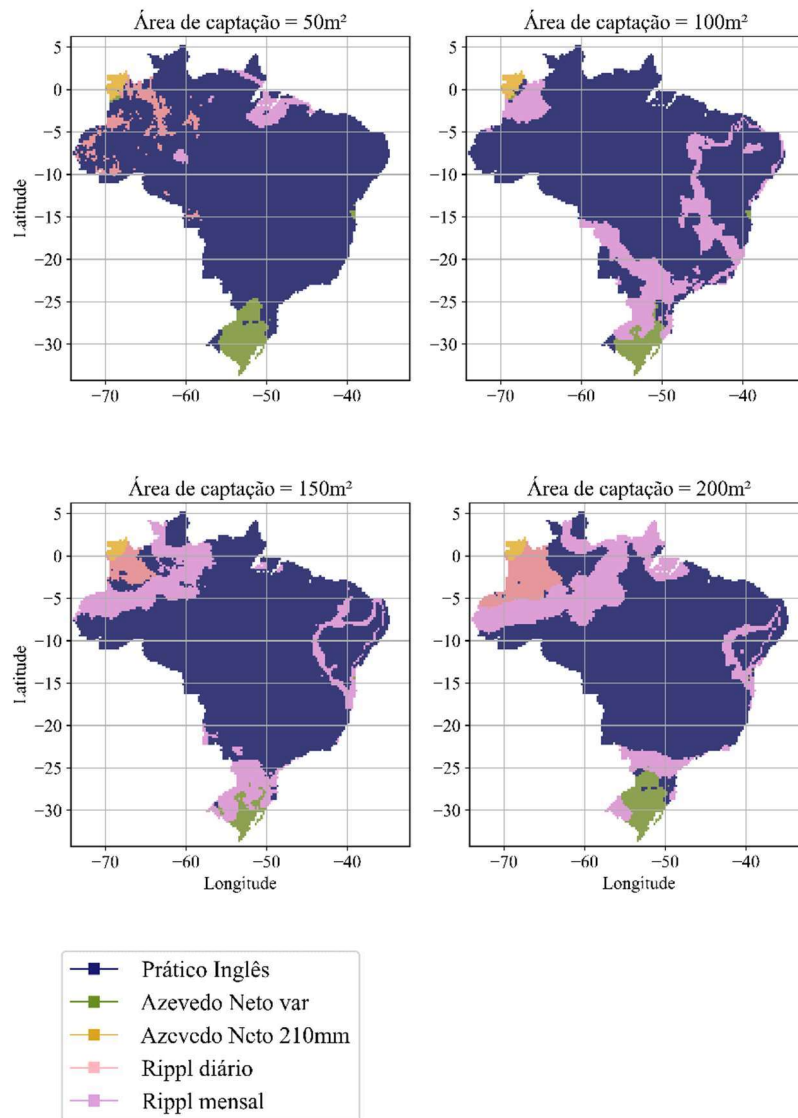


Figura 45 – Método que resulta em CEV máximo para demanda de 500L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Para a demanda de 600L/dia (Figura 46) a ocorrência de maiores valores de CEV para o método de *Rippl* com dados diários é menos frequente, principalmente para as áreas de 100 e 150m², pois a alta demanda a ser atendida levou ao dimensionamento de grandes reservatórios que operariam ociosos frequentemente, o que causou a queda dos coeficientes para o método, em comparação aos demais.

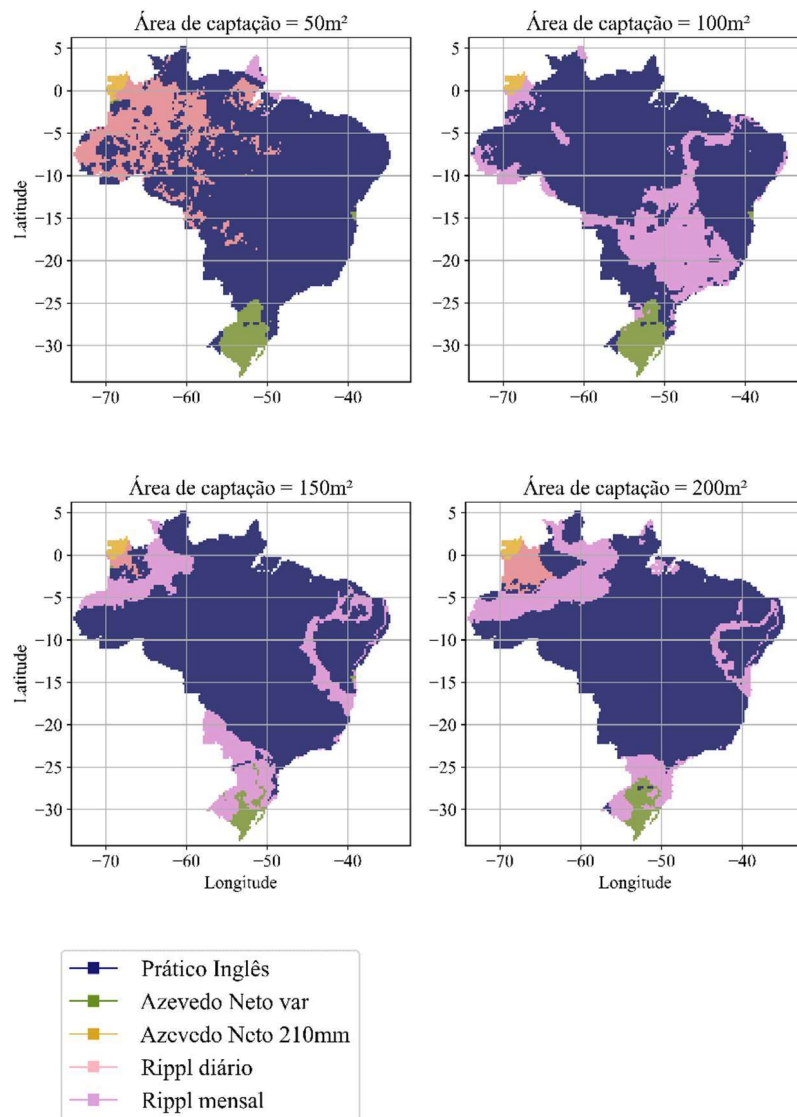


Figura 46 – Método que resulta em CEV máximo para demanda de 600L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

O método de *Rippl* com dados mensais foi o que apresentou coeficientes com comportamentos mais variantes com a área e a demanda, tendo uma ocorrência menor para demandas a partir de 500L/dia (Figura 45), onde sua ocorrência se concentrou na região Sul, e em menor extensão no Nordeste e Norte, sendo estas regiões onde foram observadas menores variabilidades mensais da chuva, mesmo em baixas precipitações médias anuais, levando a conclusão que para estes casos é mais relevante a forma como a chuva se distribui ao longo do ano do que a quantidade de chuva.

Considerando o CEV como método de otimização dos reservatórios, o método Inglês foi o que apresentou os maiores valores na maior parte do país, para demandas a partir de 200L/dia, enquanto para a demanda de 100L/dia os balanços hídricos, tanto com dados mensais quanto diários, mostraram melhores resultados em maior parte do

território. O aumento da demanda, porém, tornou o método de *Rippl* com dados diários menos eficiente em algumas localidades, levando o uso de dados mensais a apresentar melhores resultados.

Desta forma, pode-se concluir que menores reservatórios levaram predominantemente a maiores valores de CEV, com exceção para localidades com maiores volumes precipitados anualmente, e baixa variabilidade da chuva, onde mesmo grandes reservatórios, como os dimensionados pelos balanços hídricos, operariam com baixo tempo ocioso, levando a um alto volume de água aproveitável por m³ de reservatório.

5.4 – Coeficiente de Ociosidade Volumétrica (COV)

A análise do volume ocioso dos reservatórios, em relação ao seu volume construído, pode permitir a minimização dos custos de produção, diante da adoção de uma metodologia de dimensionamento que resulte em um maior aproveitamento do volume útil construído, fundamental ainda quando a área disponível para execução do projeto é limitada.

Como pode ser observado na figura 47 os métodos que resultaram nos menores valores de COV, ou seja, nos máximos aproveitamentos do volume útil construído, foram os mesmos que permitiram a obtenção dos maiores valores de CEV. O que corrobora a conclusão de que o CEV máximo traduz o melhor aproveitamento de água, num ciclo anual, por m³ de reservatório construído.

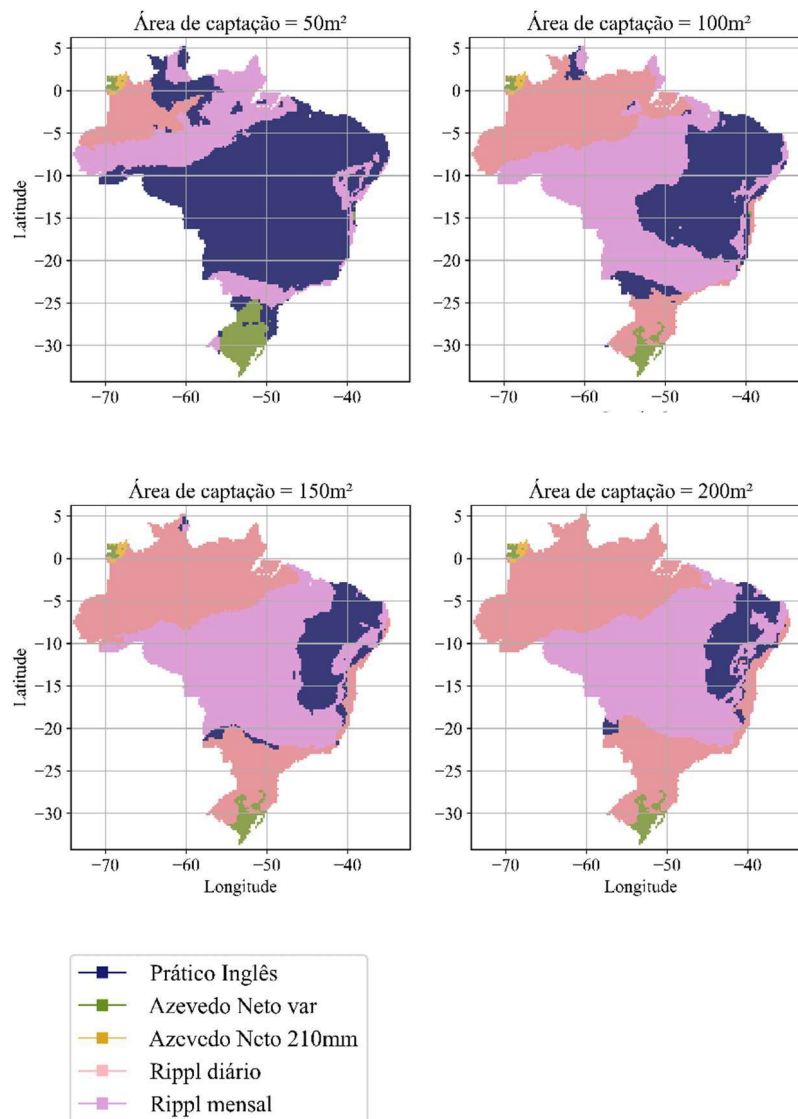


Figura 47 – Método que resulta em COVs mínimos para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Para as demais demandas consideradas (Figuras 48 a 51) o mesmo comportamento foi observado em maior parte do território, sendo a diferença mais evidente para a demanda de 600L/dia (Figura 52), onde a alta saída de água do sistema afetou o volume de água aproveitável disponível, principalmente para as áreas de 50 e 100m², nas quais os balanços hídricos haviam mostrado os maiores valores de CEV.

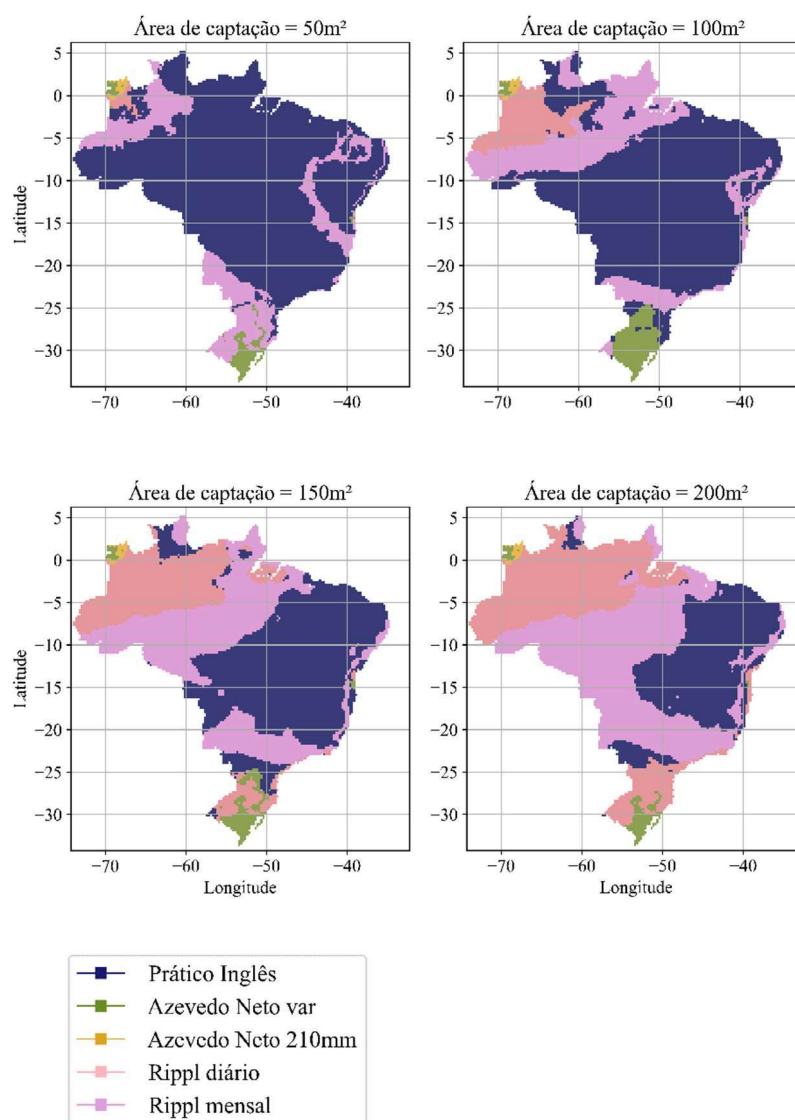


Figura 48 – Método que resulta em COVs mínimos para demanda de 200L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

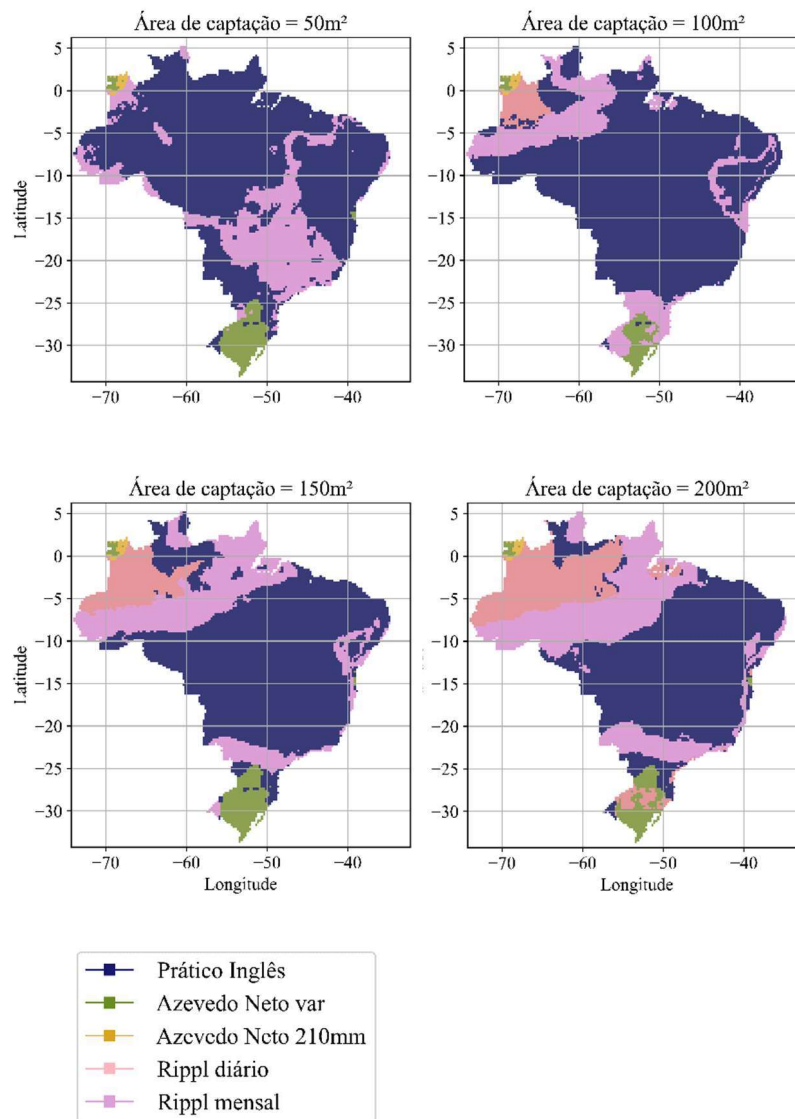


Figura 49 – Método que resulta em COVs mínimos para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

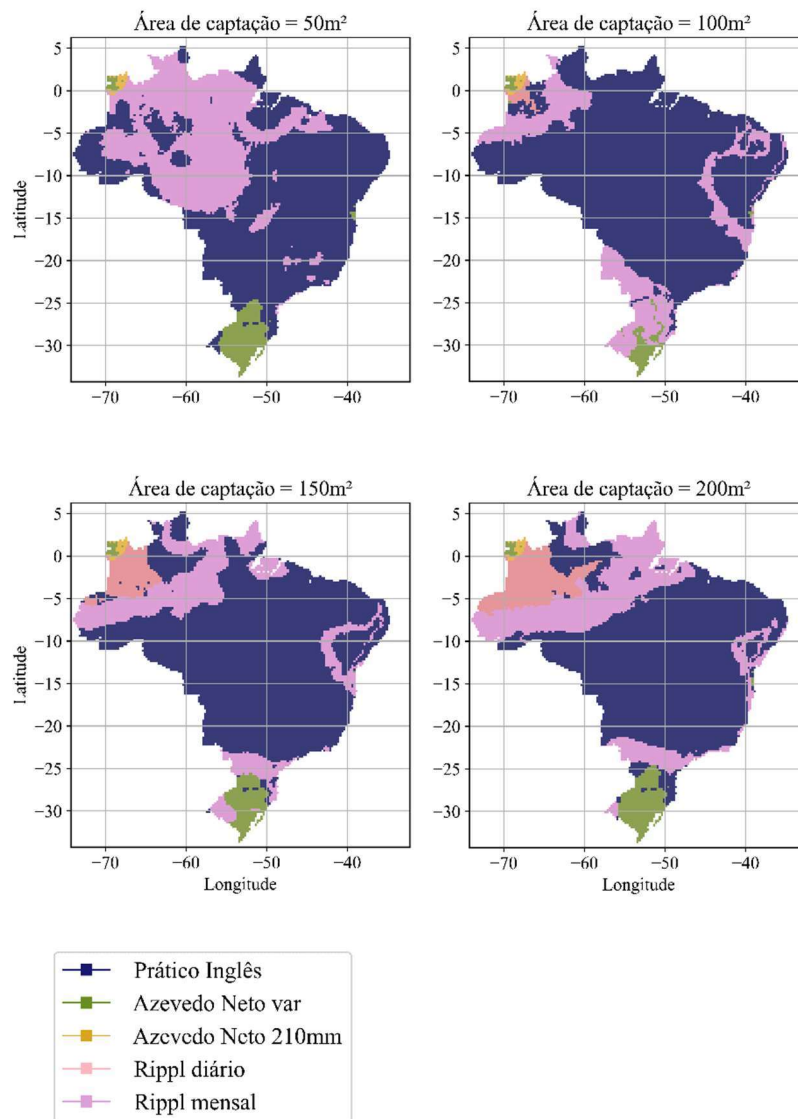


Figura 50 – Método que resulta em COVs mínimos para demanda de 400L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

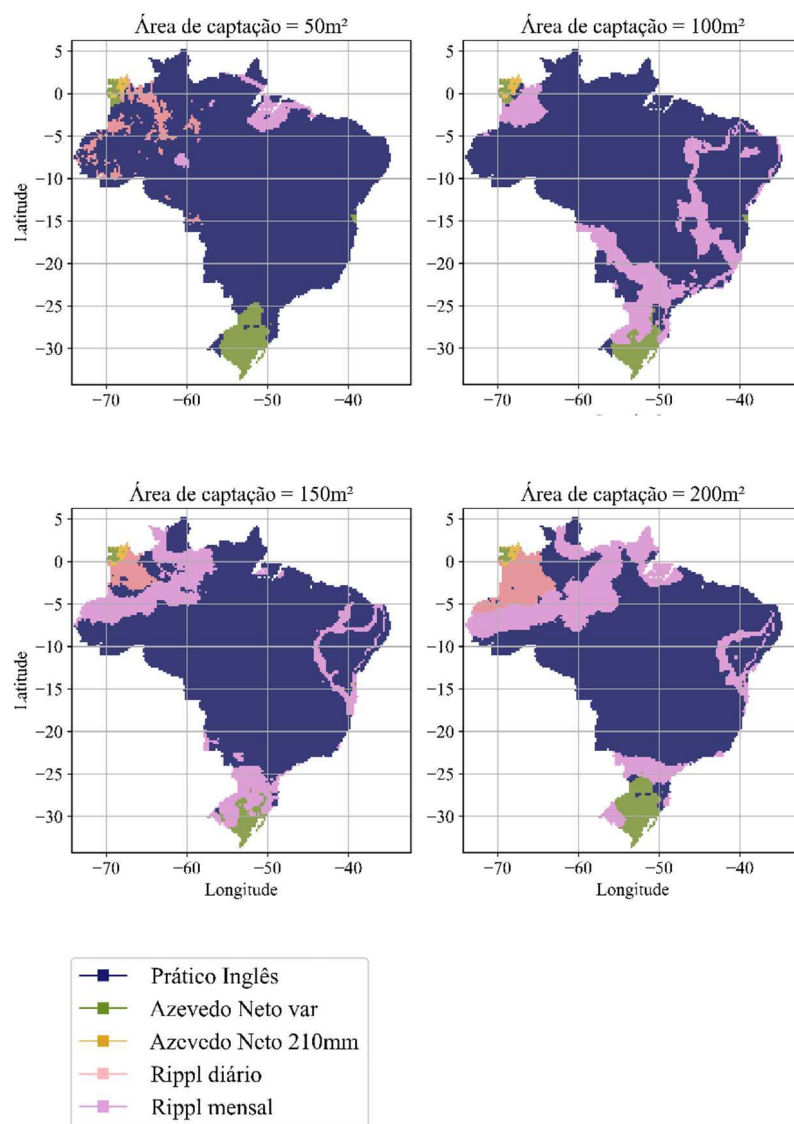


Figura 51 – Método que resulta em COVs mínimos para demanda de 500L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

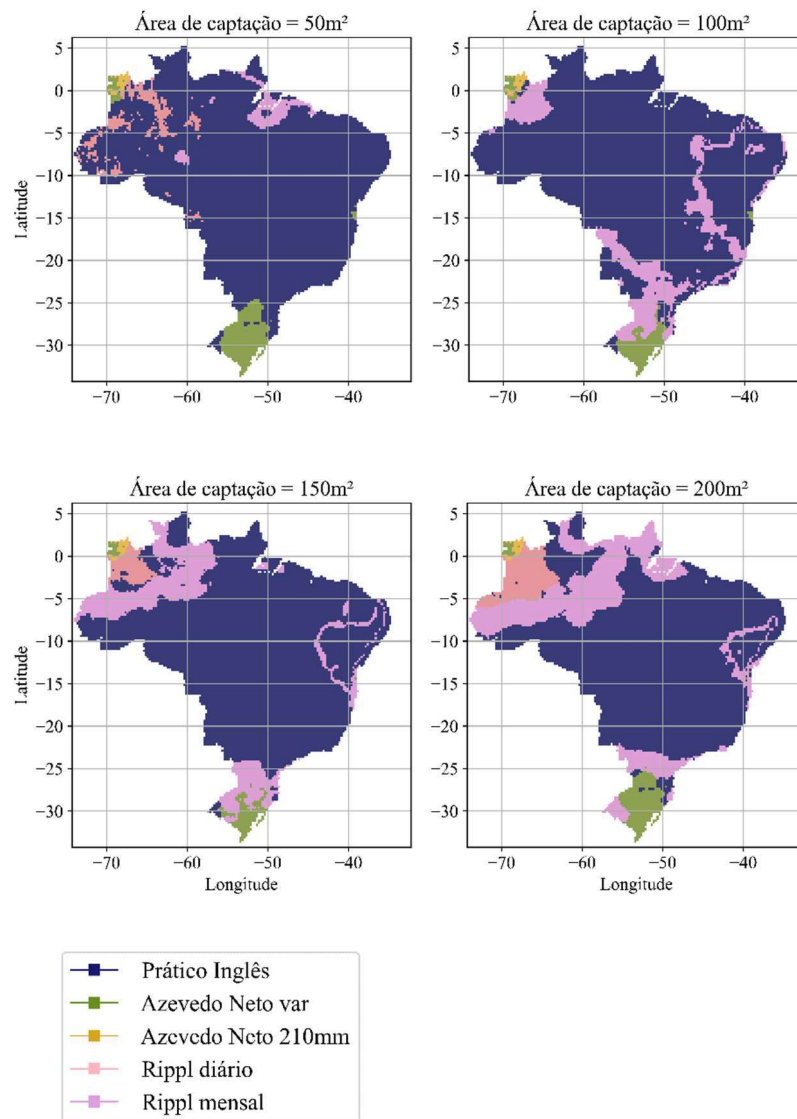


Figura 52 – Método que resulta em COVs mínimos para demanda de 600L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Esse fato se deu devido à alta saída de água do sistema que eliminou, em algumas situações, o volume transbordado, fazendo com que o volume aproveitável se igualasse ao volume de entrada de água. Desta forma, maiores CEV foram obtidos para reservatórios que não necessariamente foram os menos ociosos dos cenários, visto que estes permitiram transbordamentos.

É possível também a análise dos máximos COVs, que podem demonstrar quais métodos de dimensionamento proporcionariam os reservatórios mais ociosos, servindo como norteadores na tomada de decisões durante o projeto de sistemas, para casos em que o método indicado pelo mínimo COV não possa ser aplicado.

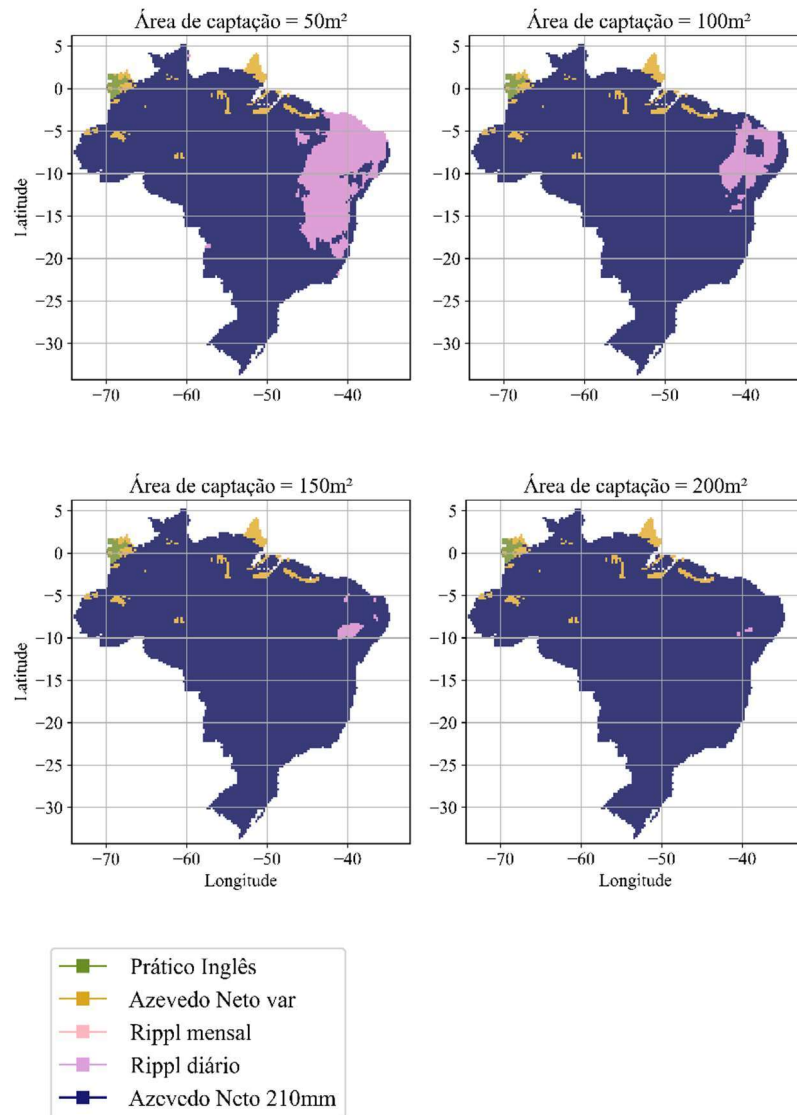


Figura 53 – Método que resulta em COVs máximos para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Pode-se observar na figura 53 que, para demanda de 100L/dia, o método que mais gerou reservatórios com altos COVs foi o método Azevedo Neto, com limiar de mês seco em 210mm mensais, levando a concluir que nestes cenários o método gerou reservatórios superdimensionados. Atenção deve ser dada ao semiárido, onde a baixa precipitação, para as menores áreas de 50 e 100m², levou ao dimensionamento de grandes reservatórios, para armazenamento de todo excedente, o que diante do regime pluviométrico da região levaria o reservatório a passar maior parte do ano com volume ocioso.

Algumas localidades da região Norte, com alta precipitação anual, apresentaram maiores COVs para os reservatórios dimensionados pelo método prático Inglês e Azevedo Neto, cujo limiar de mês seco foi baseado na média mensal local, devido a subutilização do reservatório utilizado, diante da baixa demanda considerada.

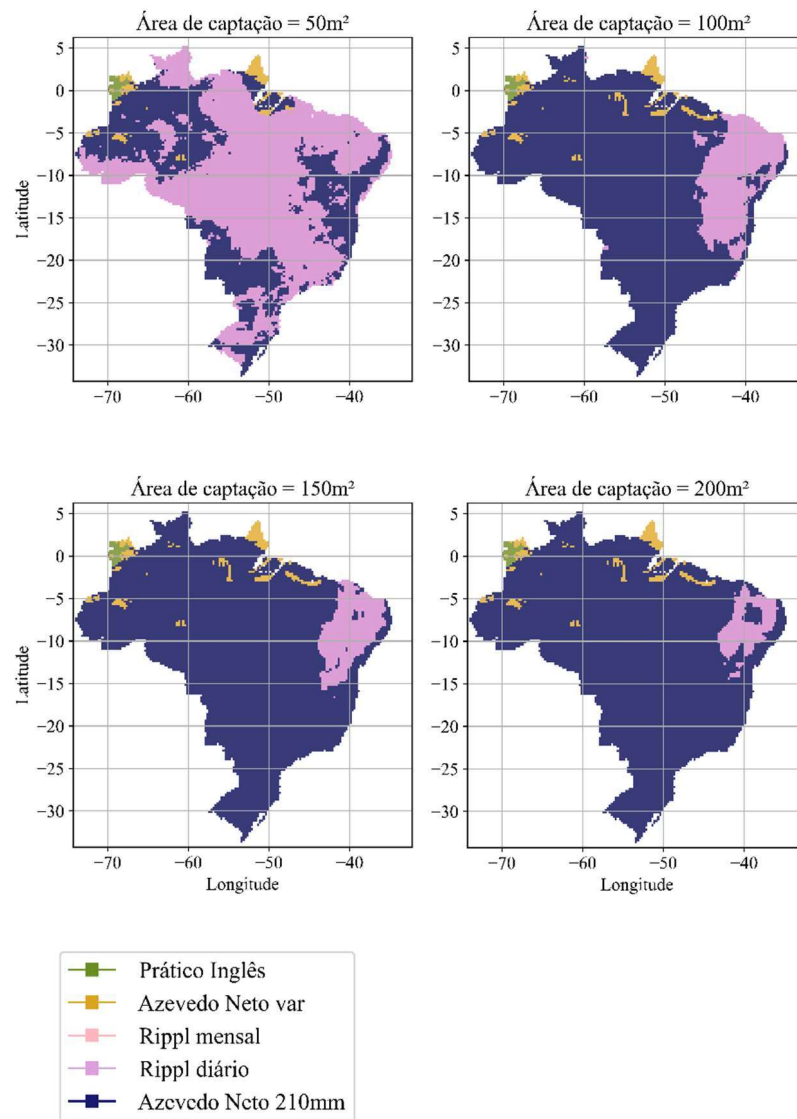


Figura 54 – Método que resulta em COVs máximos para demanda de 200L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

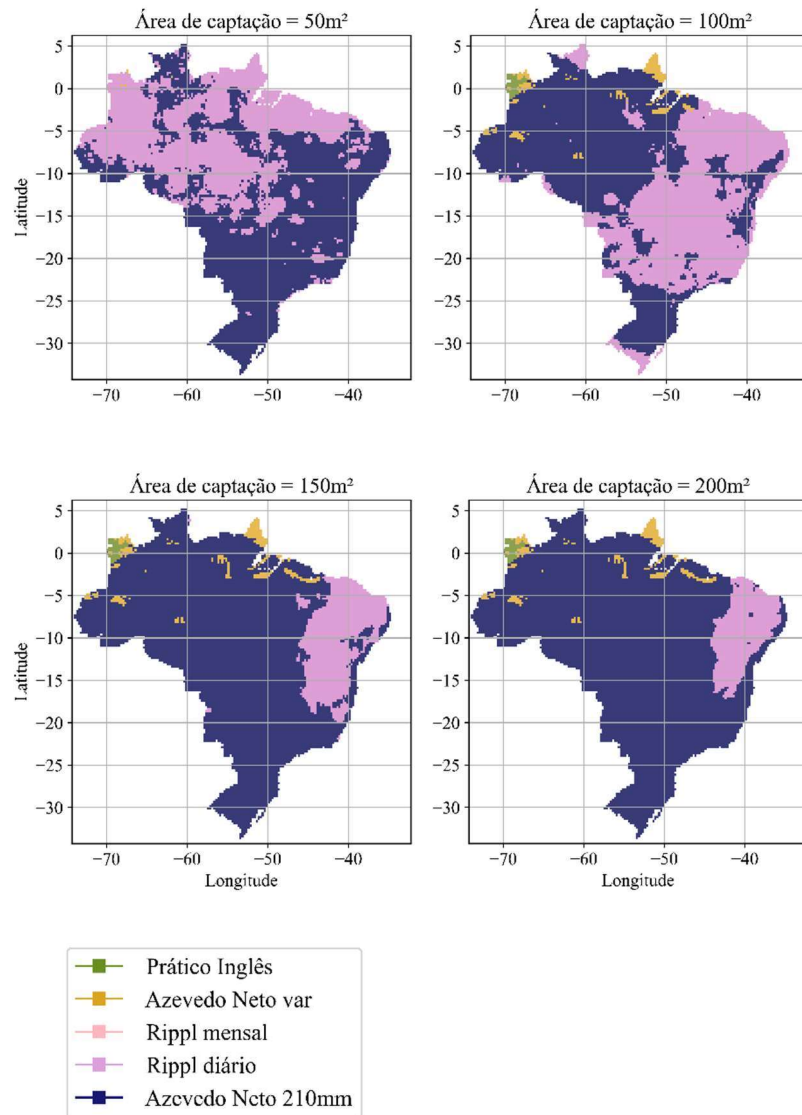


Figura 55 – Método que resulta em COVs máximos para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Com o aumento da demanda para 200 (Figura 54), 300 (Figura 55), 400 (Figura 56), 500 (Figura 57) e 600L/dia (Figura 58) a ocorrência de maiores COV para estes métodos foi recorrente, tendo os métodos práticos Inglês e Azevedo Neto se concentrado em diferentes pontos da região Norte, que variaram de acordo com as variáveis adotadas no cenário.

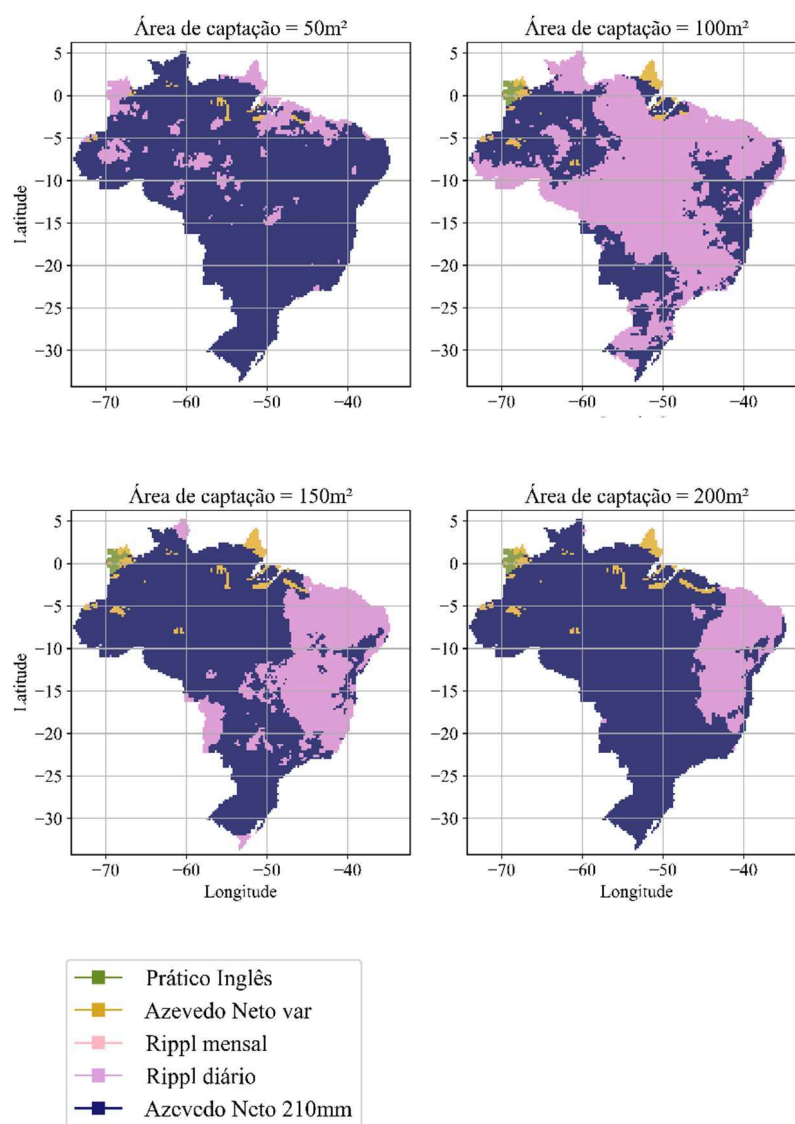


Figura 56 – Método que resulta em COVs máximos para demanda de 400L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Mesmo em demandas maiores os métodos que geraram maiores COVs, de forma mais recorrente, foram o Azevedo Neto, com limiar de mês seco em 210mm mensais, e o método de *Rippl* com dados diários.

O aumento da área de captação, em todos os cenários, fez o método de *Rippl*, com dados diários, se concentrar em região que engloba o semiárido brasileiro, levando a concluir que uma maior entrada de água levou ao superdimensionamento dos reservatórios, gerando um volume ocioso principalmente na região em que as chuvas são concentradas em apenas alguns meses do ano, conforme pode ser observado na figura 57.

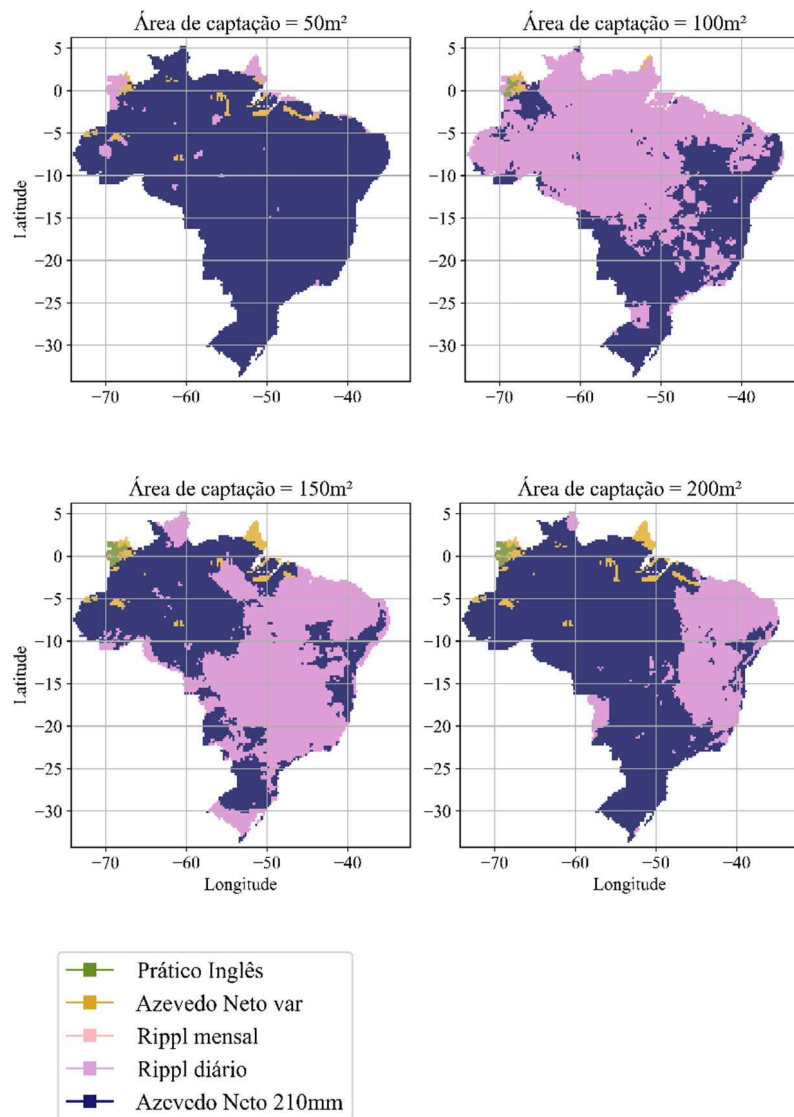


Figura 57 – Método que resulta em COVs máximos para demanda de 500L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

A prevalência do método Azevedo Neto, com limiar de tempo seco fixo, para a área de 50m², em todos os cenários de demanda, leva a concluir que a quantidade de meses secos considerada tem maior influência na ociosidade do reservatório que a área de captação, visto que o aumento da área levou ao aumento do volume de armazenamento e de entrada de água no sistema, mas não na mesma proporção, uma vez que o método majora aquele pela quantidade de meses secos, assim, a depender da distribuição pluviométrica anual o volume de armazenamento pode ficar ocioso em grande parte do ano.

O mesmo comportamento é observado para a área de 200m², e o método Azevedo Neto, neste caso, porém, a alta área de captação, fora da região mais seca do país, levou

ao superdimensionamento de reservatórios, cujo volume de água disponível para entrada no sistema seria inferior, gerando ociosidade.

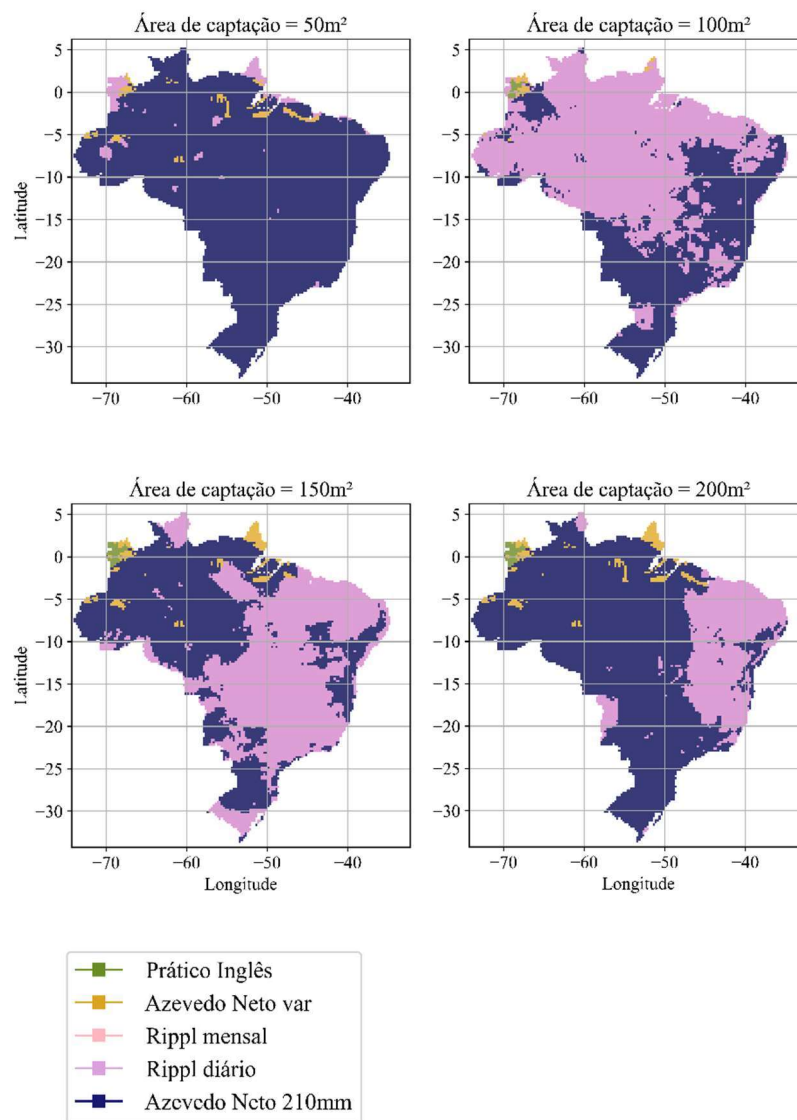


Figura 58 – Método que resulta em COVs máximos para demanda de 600L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Idealmente, o método de otimização dos reservatórios baseado no COV deve considerar seu valor mínimo, visto ser este o valor que representa a menor ociosidade do reservatório por m³ construído. Neste contexto, os métodos que propiciaram os menores COV foram majoritariamente semelhantes aos que geraram CEVs máximos, valendo pontuar, entretanto, que diferenças foram observadas para a máxima demanda aqui considerada, 600L/dia.

Vale ainda salientar, a importância da obtenção dos valores máximos de COV o que permite o conhecimento da metodologia menos desejável, a ser evitada em situações em que informações para aplicação da metodologia ideal não estão disponíveis.

5.5 – Coeficiente de Transbordamento Volumétrico (CTV)

A análise de métodos de dimensionamento de reservatórios que proporcionem menores perdas de água por transbordamento, em relação a capacidade de armazenamento do sistema, pode ajudar na escolha de variáveis que otimizem o aproveitamento de água, como a adequação da área de captação as reais necessidades de consumo.

Neste sentido, o uso do coeficiente de transbordamento volumétrico, que analisa o quanto do volume de água captada pelo sistema é perdido por transbordamento por m³ de reservatório construído, é um critério interessante para projetos onde existem limitações físicas de áreas para captação da água da chuva, por exemplo.

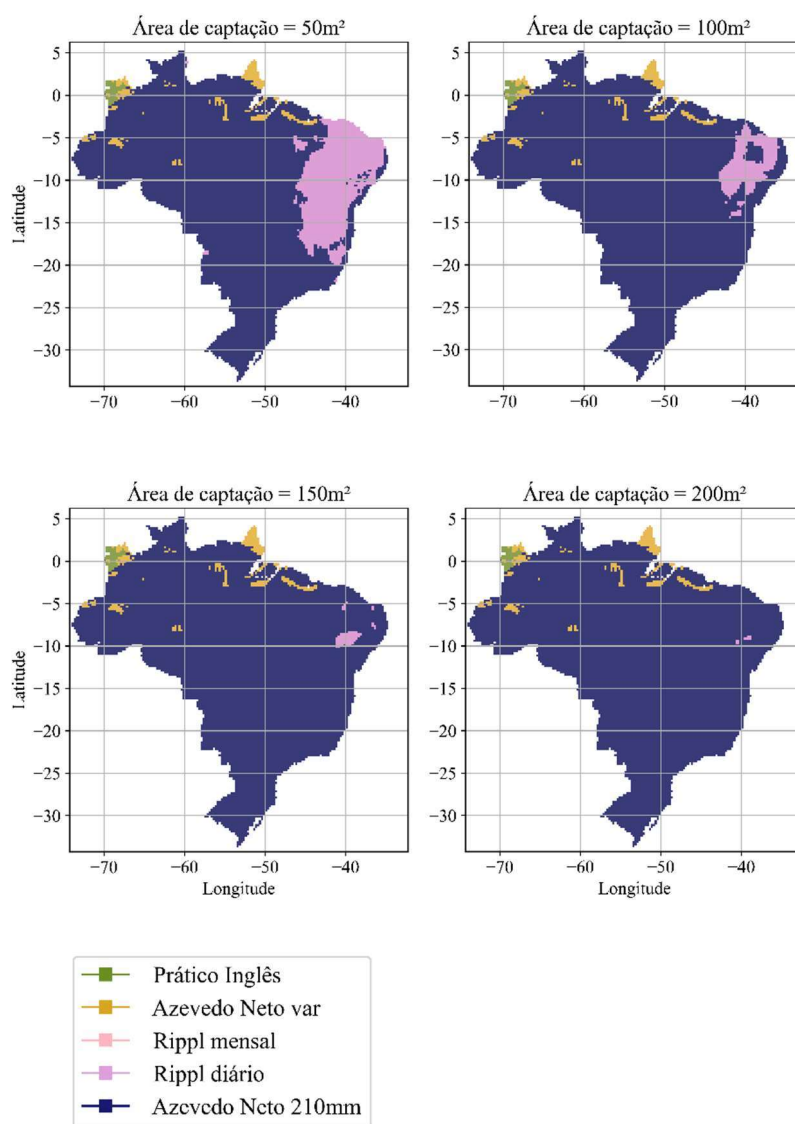


Figura 59 – Método que resulta em CTVs mínimos para demanda de 100L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Na figura 59 pode ser observado que os métodos que proporcionaram os menores coeficientes de transbordamento volumétricos, para a demanda de 100L/dia, são os mesmos que resultaram nos maiores COVs. O que indica que menores demandas tornam o funcionamento dos sistemas mais previsível, pois o método que proporcionará o volume de armazenamento mais ocioso será o mesmo que sofrerá com uma menor perda de água por transbordamento, por volume de reservatório construído.

Mudança neste comportamento, entretanto, foi observada com o aumento da demanda, principalmente para as menores áreas de 50 e 100m². Foi observado para a demanda de 200L/dia (Figura 60) que o método Azevedo Neto, com limiar de mês seco em 210mm mensais, foi substituído pelo método de *Rippl*, com dados diários, em algumas localidades, como aquele que proporcionou os menores CTVs.

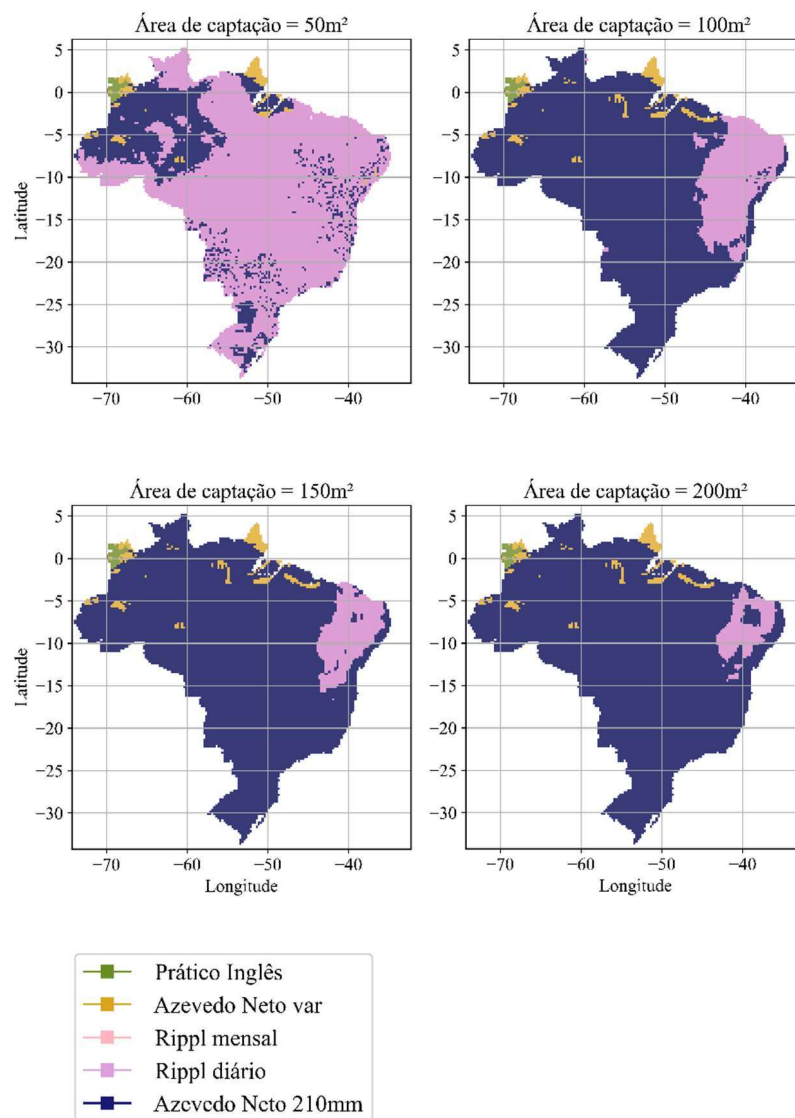


Figura 60 – Método que resulta em CTVs mínimos para demanda de 200L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Este fenômeno não necessariamente implica num menor volume de água transbordado absoluto, mas possivelmente num maior volume de reservatório obtido pelo método de *Rippl*, porém, mesmo com um maior custo de construção, um menor CTV traduz uma menor perda de água por m³ construído.

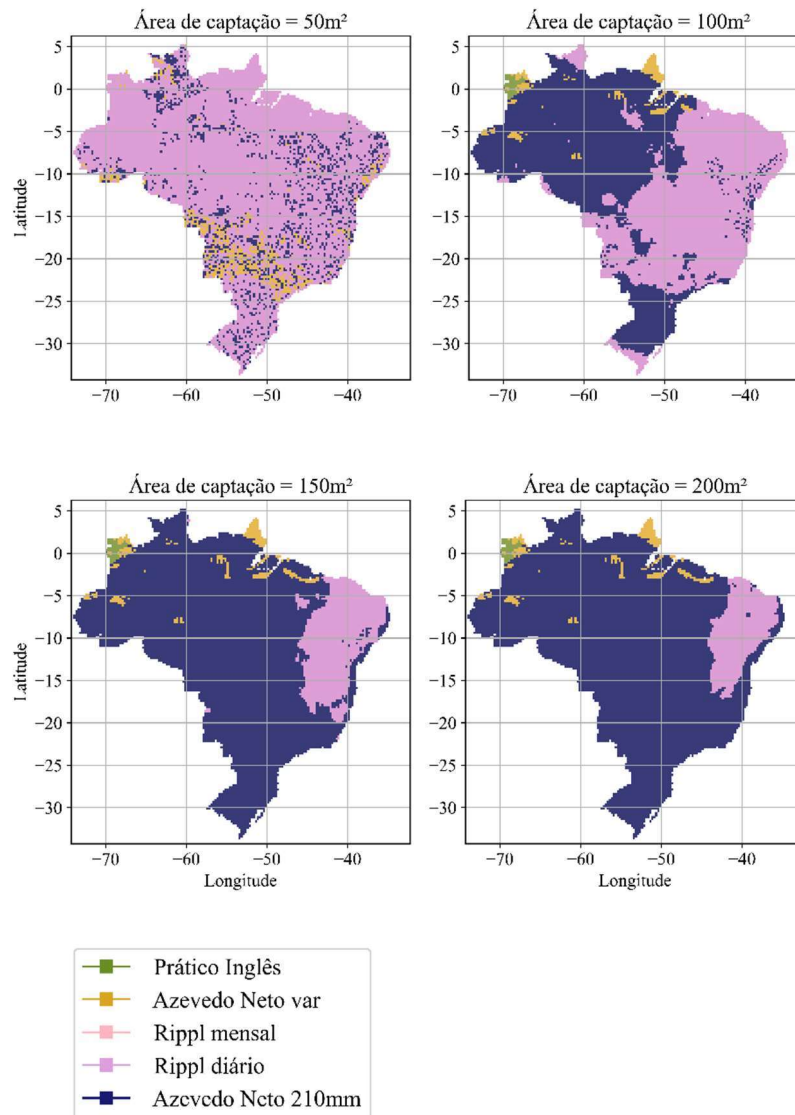


Figura 61 – Método que resulta em CTVs mínimos para demanda de 300L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Com o contínuo aumento da demanda, para 300 (Figura 61) e 400L/dia (Figura 62), a substituição do método Azevedo Neto, com limiar de mês seco em 210mm mensais, pelo método de *Rippl*, com dados diários, continuou sendo observado para as áreas de 50 e 100m², em comparação com os COVs máximos. Porém, para a menor área, além dessa substituição o método Azevedo Neto, com limiar de mês seco baseado nas médias mensais de precipitação de cada localidade, passou a apresentar o menores CTVs,

inicialmente para locais concentrados, principalmente, na região Centro-Oeste do país (Figura 61), e em seguida se tornando recorrente em localidades da região Norte e litoral do Nordeste (Figuras 62 e 63).

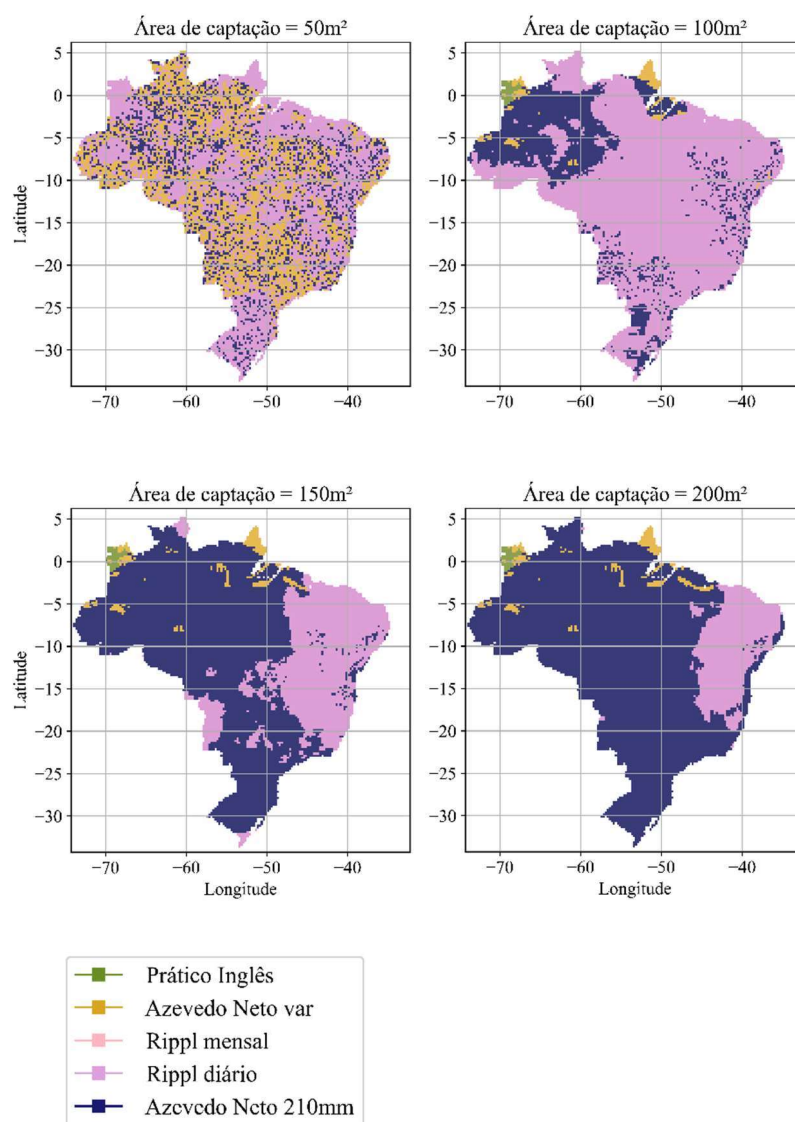


Figura 62 – Método que resulta em CTVs mínimos para demanda de 400L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Como os métodos práticos não baseiam seu dimensionamento nas demandas, e consequentemente os reservatórios não sofrem alterações de volume com sua variação, uma demanda crescente levou a maiores saídas diárias de água do sistema, ou seja, a menores volumes extravasados nos reservatórios dimensionados pelo método Azevedo Neto, que como mantiveram seus volumes de armazenamento invariáveis para uma mesma área de captação, apresentaram menores CTVs.

Comparativamente os balanços hídricos geraram reservatórios menores com o aumento das saídas de água; e uma demanda crescente levou a uma maior ociosidade nos

reservatórios dimensionados pelo método de *Rippl*, o que explica um baixo CTV mesmo em localidades que gerou COVs máximos.

Nestes casos ainda, o método Azevedo Neto, baseado nas médias mensais, gerou maiores reservatórios que aqueles dimensionados com limiar seco em 210mm, nas localidades onde proporcionou os menores CTVs, o que justifica sua predominância.

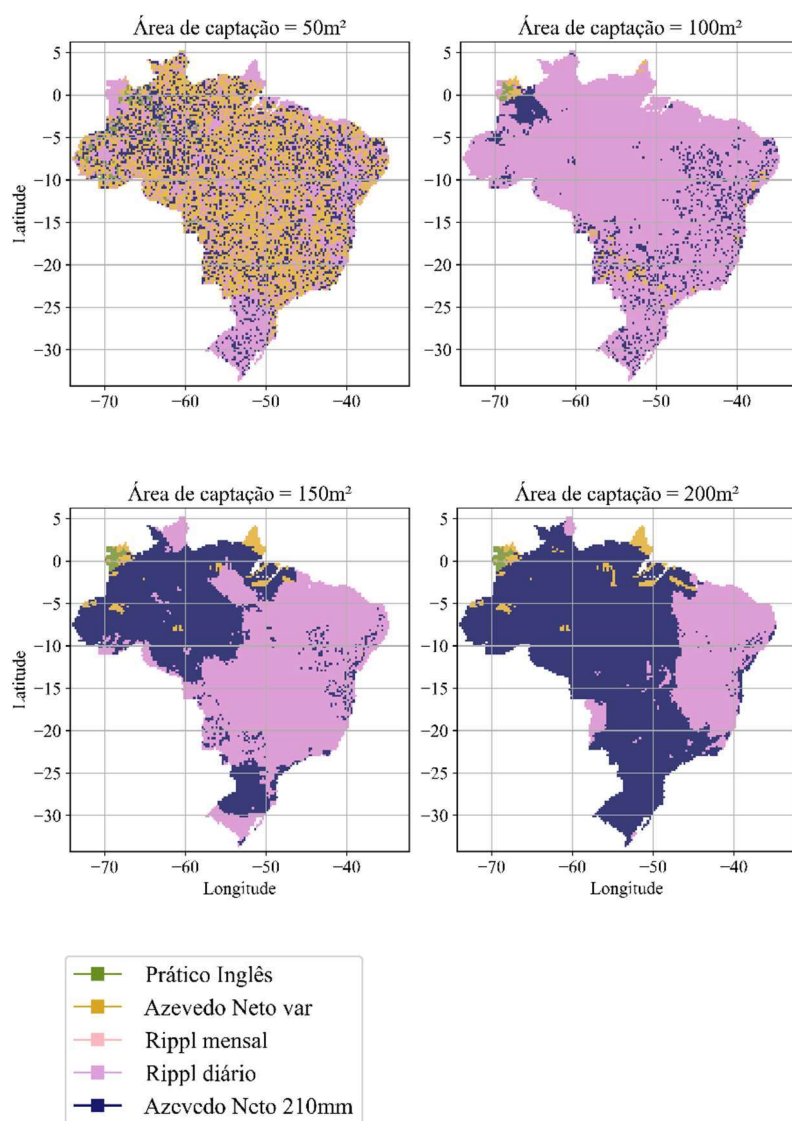


Figura 63 – Método que resulta em CTVs mínimos para demanda de 500L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Para a demanda de 600L/dia (Figura 64) os comportamentos anteriormente discutidos passaram a ser verificados para as áreas de 150 e 200m², onde nestes cenários a ocorrência de menores CTVs para o método Azevedo Neto, com limiar de mês seco em 210mm, em localidade cujos maiores COVs foram gerados pelo método de *Rippl*, baseado em precipitações diárias, foi observada.

Para a área de 50m² o método prático Inglês apresentou menores coeficientes de transbordamento em algumas localidades do Norte do país, com alta precipitação média anual. Neste cenário, a alta saída de água, e a baixa entrada no sistema, levou os volumes transbordados para valores mínimos, mesmo para pequenos reservatórios, como os obtidos pelos métodos práticos.

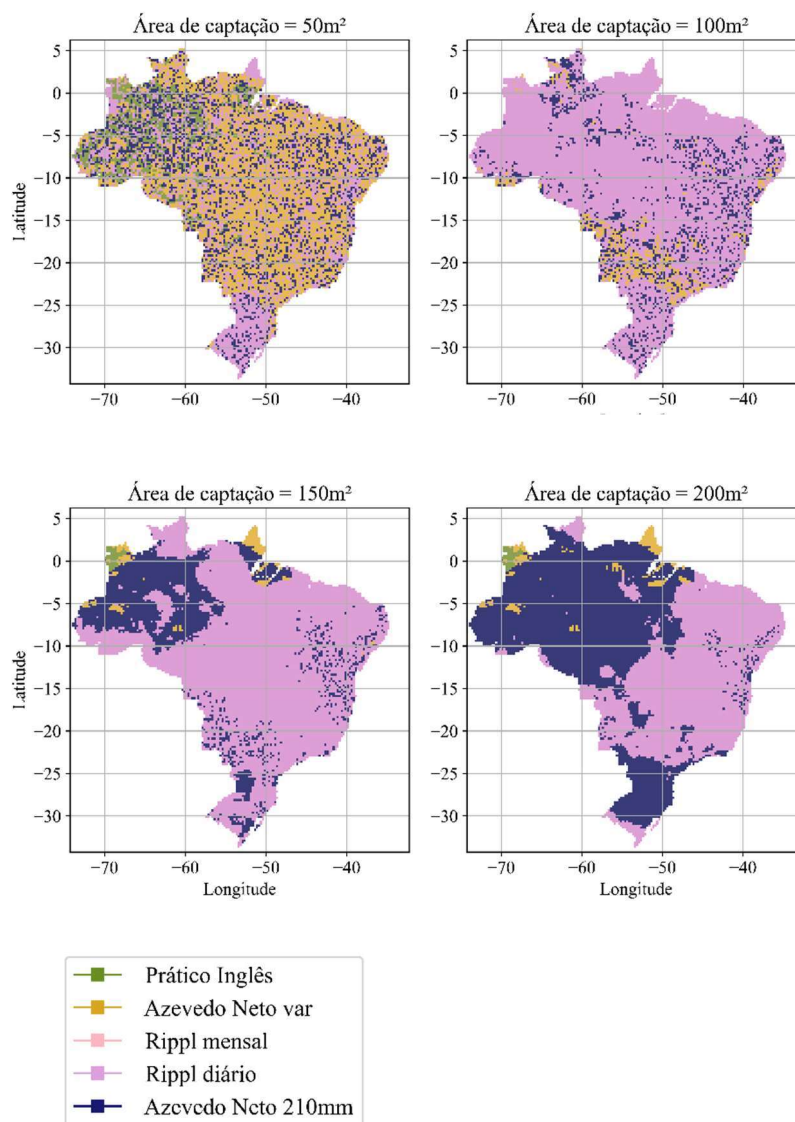


Figura 64 – Método que resulta em CTVs mínimos para demanda de 600L/dia, e áreas de captação de 50, 100, 150 e 200m², respectivamente. (Fonte: Autora, 2023)

Considerando-se o CTV como critério de projeto para dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água de chuva, o método que apresentou menores valores prevalentemente para demandas a partir de 200L/dia foi o método de *Rippl* com dados diários, sendo seus melhores resultados mais expressivos para a área de 100m², acima da qual tendeu a concentrar melhores resultados nas regiões com menor precipitação anual.

No caso de baixas demandas, aqui considerada no menor valor em 100L/dia, o método Azevedo Neto, com limiar de mês seco em 210mm mensais, apresentou os menores valores de CTV em quase todo o território, tendo o método de *Rippl* com dados diários mostrado melhores resultados apenas na região mais seca para as menores áreas de captação consideradas.

Apenas para demandas acima de 400L/dia e área de captação de 50m² que o método Azevedo Neto, com limiar de mês seco baseado nas medias mensais de cada localidade, mostrou menores valores de CTV em uma área mais abrangente.

5.6 – Dimensionamento de reservatório baseado nos coeficientes

Através da execução do algoritmo desenvolvido é possível obter o método de dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água de chuva, dentre os analisados neste trabalho, que proporciona um volume de reservatório cujos valores de CEV, COV ou CTV são ótimos, dentro de um determinado cenário de área de captação e demanda, para uma localização identificada por um par de coordenadas geográficas.

Na figura 65 pode ser observado que utilizando como critério de eficiência o COV, que proporciona a menor ociosidade por m³ de reservatório, na localização identificada pelas coordenadas latitude -7,2 e longitude -35,4, com uma área de captação de 52m² e demanda de 163L/dia, o COV mínimo, obtido pelo método de dimensionamento prático Inglês, é de 352,548m³/m³.

São calculados e fornecidos ainda o volume do reservatório dimensionado por este método, no valor de 2,761m³, e o volume de água aproveitável médio em um ciclo anual de 35,123m³.

Dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água de chuva

Desenvolvido por Cinthya Santos - PPGECA/UEPB

Escolha o coeficiente no qual será baseado o dimensionamento:

COV

O método de dimensionamento será baseado no COV

Seleção de coeficiente

Insira a latitude (Ex. -7.14):

-7,2

Insira a longitude (Ex. -35.4):

-35,4

Insira a área de captação em m²

52

Insira a demanda de água em L/dia:

163

Cálculo

O COV mínimo é de 352.548 m³/m³ e foi obtido pelo método prático Inglês

O volume do reservatório é de 2.761 m³

O volume de água aproveitável médio num ciclo anual é de 35.123 m³

Limpar

Critérios de dimensionamento:

CEV: menor tempo de retorno;

COV: maximização do volume de reservatório utilizado;

CTV: maximização do volume de água aproveitado.

Figura 65 – Método sugerido para dimensionamento do reservatório que resulta em COV mínimo para demanda de 163L/dia e área de captação de 52m², para os pontos de latitude -7,2 e longitude -35,4. (Fonte: Autora, 2023)

Como pode ser observado na figura 66, quando considerado o CEV como critério de projeto o seu valor máximo foi de 12,723m³/m³, obtido também pelo método prático Inglês, correspondendo ao já observado para reservatórios dimensionados em cenários com baixas áreas de captação e demandas, cujos valores ótimos de COV e CEV são obtidos pelo mesmo método de dimensionamento, uma vez que o maior aproveitamento de água é alcançado pelo reservatório menos ocioso.

Dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água de chuva

Desenvolvido por Cinthya Santos - PPGECA/UEPB

Escolha o coeficiente no qual será baseado o dimensionamento:

CEV

O método de dimensionamento será baseado no CEV

Seleção de coeficiente

Insira a latitude (Ex. -7.14):

-7,2

Insira a longitude (Ex. -35.4):

-35,4

Insira a área de captação em m²

52

Insira a demanda de água em L/dia:

163

Cálculo

O CEV máximo é de 12.723 m³/m³ e foi obtido pelo método prático Inglês

O volume do reservatório é de 2.761 m³

O volume de água aproveitável médio num ciclo anual é de 35.123 m³

Limpar

Critérios de dimensionamento:

CEV: menor tempo de retorno;

COV: maximização do volume de reservatório utilizado;

CTV: maximização do volume de água aproveitado.

Figura 66 – Método sugerido para dimensionamento do reservatório que resulta em CEV máximo para demanda de 163L/dia e área de captação de 52m², para os pontos de latitude -7,2 e longitude -35,4. (Fonte: Autora, 2023)

Para o CTV como critério de projeto, entretanto, o método dimensionamento sugerido para um valor ótimo é o Azevedo Neto, com limiar de tempo seco em 210mm mensais, que permitiu um CTV mínimo de $0,005\text{m}^3/\text{m}^3$, conforme pode ser observado na figura 67.

Dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água de chuva

Desenvolvido por Cinthya Santos - PPGECA/UFPA

Escolha o coeficiente no qual será baseado o dimensionamento:

CTV

O método de dimensionamento será baseado no CTV

Seleção de coeficiente

Insira a latitude (Ex. -7.14):

-7.2

Insira a longitude (Ex. -35.4):

-35.4

Insira a área de captação em m^2 :

52

Insira a demanda de água em L/dia:

163

Cálculo

O CTV mínimo é de $0.005\text{ m}^3/\text{m}^3$ e foi obtido pelo método Azevedo Neto, para precipitação média mensal do mês seco inferior a 210mm

O volume do reservatório é de 27.827 m^3

O volume de água aproveitável médio num ciclo anual é de 44.034 m^3

Limpar

Critérios de dimensionamento:

CEV: menor tempo de retorno;

COV: maximização do volume de reservatório utilizado;

CTV: maximização do volume de água aproveitado.

Figura 67– Método sugerido para dimensionamento do reservatório que resulta em CTV mínimo para demanda de 163L/dia e área de captação de 52m^2 , para os pontos de latitude -7,2 e longitude -35,4. (Fonte: Autora, 2023)

Para este método o volume de reservatórios obtido, no cenário e localização geográfica especificados, é de $27,287\text{m}^3$, que permite um aproveitamento de água médio em um ciclo anual $44,034\text{m}^3$.

6 – CONCLUSÕES

Os três coeficientes desenvolvidos neste trabalho, Coeficiente de Eficiência Volumétrica, Coeficiente de Ociosidade Volumétrica e Coeficiente de Transbordamento Volumétrico, sendo os dois últimos inéditos, atenderam o propósito de servir como critérios norteadores da escolha do método de dimensionamento mais indicado para diferentes cenários.

Os três representam valores de volume de água aproveitável médio, volume ocioso médio e volume transbordado médio dentro de um ciclo anual, respectivamente, em relação ao volume do reservatório dimensionado, logo traduzem indiretamente o custo de implantação do sistema, visto que o reservatório constitui o item mais oneroso.

Para baixas demandas hídricas (demanda de 100L/dia), o método Inglês apresentou os melhores valores de CEV apenas para a menor área de captação considerada (50m²), com o aumento da demanda para 200L/dia passou a apresentar melhores resultados numa extensão territorial maior, sendo que para área de captação de 200m² se concentrou apenas na região em torno no semiárido. A partir, porém, de 300L/dia passou a resultar nos maiores coeficientes na maior parte do país, mostrando que para este critério menores reservatórios apresentaram maiores valores de CEV em regiões com menor precipitação média anual. Regiões mais chuvosas, entretanto, apresentaram melhores resultados com os balanços hídricos, sendo uma exceção a região sul, que apesar da alta precipitação anual possui um regime de chuvas com baixa variabilidade temporal no ano e apresentou os melhores CEV para o método prático Azevedo Neto em todos os cenários.

O COV desejável em projeto é o valor mínimo, ou seja, aquele cujo volume ocioso médio anual é o menor por metro cúbico de reservatório. Foi observado, que na maioria dos cenários analisados nesse trabalho o método de dimensionamento de reservatório que proporcionou um COV mínimo foi o mesmo que resultou em um CEV máximo, visto que os menores reservatórios comumente têm um melhor aproveitamento do seu volume útil, resultando numa menor ociosidade.

Contudo, com o aumento da demanda para 600L/dia essa dinâmica foi alterada para a área de captação de 50m², onde a extensão territorial cujos melhores resultados de CEV foram obtidos pelo método de *Rippl* com dados diários, menor para os melhores valores de COV. Este resultado mostrou que mesmo em regiões com alta precipitação média anual, áreas de captação pequenas e altas saídas de água resultam em reservatórios grandes, que apesar de permitirem um alto volume aproveitável anual, o que gerou um

maior CEV, podem passar por um longo período ocioso, superior ao de um reservatório menor.

O CTV, cujos valores ótimos são representados pelos valores mínimos, teve seus melhores resultados predominantemente para dois métodos, Azevedo Neto com limiar de tempo seco em 210mm, e *Rippl* com dados diários; numa menor escala o método Azevedo Neto com limiar de tempo seco baseado nas médias mensais apresentou os menores valores em alguns cenários.

A tendência observada para o CTV foi de concentração de melhores valores para o método de *Rippl* com dados diários para regiões mais secas, e do método Azevedo Neto nas demais regiões. Com o aumento da demanda e da área de captação, porém, os reservatórios dimensionados pelo método de *Rippl* com dados diários passaram a apresentar os menores valores de CTV em uma maior extensão territorial, correspondendo a quase todo ele para a área de captação de 50m², e o método Azevedo Neto passou a se concentrar apenas nas regiões mais chuvosas do norte do país.

Todavia, foi observado que a partir da demanda de 500L/dia o método Azevedo Neto, com limiar de tempo seco baseado nas médias mensais, passou a resultar para a área de 50m² em menores CTVs distribuídos na região central do país, reflexo do maior volume aproveitável de água, e consequentemente menor volume transbordado, obtido pelos reservatórios dimensionados pelo método.

A metodologia de dimensionamento de reservatórios aqui desenvolvida elimina a subjetividade na escolha do método de dimensionamento a ser aplicado, e simplifica a análise de viabilidade econômica. Baseando o critério de dimensionamento de reservatórios nos CEV, COV e CTV, surge como uma facilitação no desenvolvimento de projetos de reservatórios para armazenamento de água de chuva, principalmente em localidades onde há escassez de dados de precipitação, visto que em algumas localidades os valores ótimos podem ser alcançados por métodos baseados na precipitação média anual ou mensal, além de ser uma metodologia fundamentada em coeficientes quantitativos e comparáveis entre si.

Vale salientar, porém, que os valores ótimos apresentados estão restritos aos cenários aqui considerados, não sendo excluída a possibilidade de melhores resultados para métodos de dimensionamento e cenários não explorados por este trabalho, o que torna desejável para pesquisas futuras a análise de coeficientes, e recálculo dos valores ótimos, para outros métodos existentes na literatura e variáveis de projeto, incluindo a análise do impacto de uma demanda variável no tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(ASA). Articulação no Semiárido Brasileiro. Tecnologias Sociais para Convivência com o Semiárido - Cisterna-Calçadão. Disponível em: <https://www.tenhosede.org.br/>. Acesso em: janeiro de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva - aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos. Rio de Janeiro, p. 8, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva - aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos. Rio de Janeiro, p. 10, 2019.

ALLEN, J. E.; HAARHOFF, J. A proposal for the probabilistic sizing of rainwater tanks for constant demand. **Journal of the South African Institution of Civil Engineering**, [s. l.], v. 57, n. 2, p. 22–27, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.17159/2309-8775/2015/v57n2a3>

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212011000400005>.

ANDRADE, A. E. F.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; CARNEIRO, M. A.; FERRAZ, E. K. V. Estudo da viabilidade econômica para sistema de aproveitamento de águas de chuva na sede da companhia brasileira de trens urbanos em João Pessoa / PB. In: **II Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana**, São Paulo, 2019.

ARAÚJO, J.; COHIM, E. The interference of rainfall distribution in size of rain water tanks in Bahia. **Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications**, e.10. v.03, 2017. Doi: <https://dx.doi.org/10.5935/2447-0228.20170050>

ARAÚJO, A. J. C.; VALE, E. R. R.; GUEDES, M. J. F. Avaliação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial para fins não potáveis. **X Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, [s. l.], p. 1–7, 2019.

BRASIL. **Plansab - Relatório de Avaliação Anual 2018** . [s. l.], 2018.

BRITISH STANDARDS (BSI). RAINWATER HARVESTING SYSTEMS – CODE OF PRACTICE. [s. l.], 2009.

CAMPISANO, A.; BUTLER, D.; WARD, S.; BURNS, M. J.; FRIELDER, E.; DEBUSK, K.; FISHER-JEFFES, L. N.; GHISI, E.; RAHMAN, A.; FURUMAI, H.; HAN, M. **Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives**. Water Research, [s. l.], v. 115, p. 195-209, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.002>

COHIM, E.; ORRICO, S. A CONFIABILIDADE DO VOLUME DAS CISTERNAS DA

ZONA RURAL PARA RESERVAR ÁGUA DE CHUVA. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**. v. 3, n. 2, p. 91-99, 2015 – ISSN: 2317-563X.

CONSELHO NACIONAL DA ÁGUA (CNA). Água no Planeta Terra. Disponível em: <https://conselhonacionaldaagua.weebly.com/aacutegua-no-planeta-terra.html>. Acesso em: dezembro de 2022.

DAHRI, G. N.; MANGAN, T.; NANGRAJ, G. M.; TALPUR B. A.; JARWAR, I. A.; SIAL, M.; NANGRAJ, A. N.; AAMIR. Socio-economic Impact and Migration Due to Water Shortage in District Badin Sindh Province of Pakistan. **Journal of Economic Impact**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 01–11, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.52223/jei3012101>

FARTO, D. D., SILVA, T. C., Avaliação comparativa da qualidade de água de chuva e oriunda de açudes armazenadas em cisternas no semiárido do estado da Paraíba. **Revista DAE**, v. 68, n 223, p. 112-123, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.033>

FERREIRA, A. T.; SILVA, K. C. A. Comparação entre métodos de dimensionamento de reservatório propostos pela ABNT NBR 15527:2007 para sistemas de aproveitamento de águas pluviais em residência unifamiliar – Carapicuíba - SP. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 273–286, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/reec.v15i2.60660>

FEWKES, A.; WARM, P. Method of modelling the performance of rainwater collection systems in the United Kingdom. **Building Services Engineering Research and Technology**, [s. l.], v. 21, n. 4, p. 257–265, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/014362440002100408>

FONSECA, V. L. A.; MENEZES FILHO, F. C. M. Estudo comparativo para métodos de dimensionamento para reservatórios de sistemas de aproveitamento de águas pluviais. **Holos Enviroment**. [s. l.], v. 19, n.2, p. 287–303, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v19i2.12326>

GHISI, E. Parameters influencing the sizing of rainwater tanks for use in houses. **Journal Water Resources Management**, [s. l.], v. 24, n. 10, p. 2381–2403, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9557-4>

GIFFONI, V. V.; GADÉA, A. S. M.; COHIM, E.; FREITAS, J. J.; ARAÚJO, J. F. Sizing rainwater harvesting systems for animal watering in semi-arid regions. **Water Practice and Technology**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 971–980, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wpt.2019.080>

GIFFONI, V. V.; COHIM, E. H. B. Otimização De Volumes De Reservatórios De Água Da Chuva Para Uso Pecuário. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 151, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/gesta.v7i2.30775>

GURUNG, T. R.; SHARMA, A.; UMAPATHI, S. Economics of Scale Analysis of Communal Rainwater Tanks. **Urban Water Security Research Alliance**. Technical Report No . 67. [s. l.], n. 67, p. 1836–5558, 2012.

HASHIMOTO, T.; LOUCKS, D. P.; STEDINGER, J. R.; Reliability, resiliency, robustness, and vulnerability criteria for water resource systems. **Water Resources Research**, v. 18, n. 1, 1982.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS (IPT). Manual para captação emergencial e uso domestico de agua de chuva. [s. l.], p. 28, 2015. Disponível em: https://www.ipt.br/banco_arquivos/1200-Manual_para_captacao_emergencial_e_uso_domestico_de_AGUA_DA_CHUVA.pdf. Acesso em: janeiro de 2023.

KIM, J. E.; TEH, E. X.; HUMPHREY, D.; HOFMAN, J. Optimal storage sizing for indoor arena rainwater harvesting: Hydraulic simulation and economic assessment. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 280, p. 1-10, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111847>

KOUMOURA, K. A.; FELONI, E. G.; LONDRA, P. A.; BALTAS, E. A.; TSIHRINTZIS, V. A. Uncertainty analysis in sizing rainwater harvesting tanks in an isolated island with limited water resources. **Global Nest Journal**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 534–540, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.30955/gnj.002535>

LEITE, P. A.C.; SANTOS, I. F. S. Dimensionamento preliminar de reservatório de águas pluviais para o prédio do instituto de recursos naturais (Irn- Unifei). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, [s. l.], v. 4, n. 4, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rber.v4i4.44154>

LIMA, M. F. D. S.; MANNICH, M.; PEDROSO, A. Ocorrências de falhas em reservatórios de captação de água de chuva. In: **XXIII Simposio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Foz do Iguaçu - PR , April, 2020. (ISSN 2318-0358).

LI, Y.; HUANG, Y.; YE, K.; ZHANG, W.; MENG, F.; ZHANG, F. Multi-objective optimization integrated with life cycle assessment for rainwater harvesting systems. **Journal of Hydrology**, p. 659–666, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.007>

LOUCKS, D. P. Quantification des tendances de la durabilité des systèmes. **Hydrological Sciences Journal**, [s. l.], v. 42, n. 4, p. 513–530, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02626669709492051>

LUNA, Y. H. D. M. **Eficiência volumétrica de reservatórios para aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais no Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 212, 2022.

MA, M. California Water Crisis - Policies and Future Developments in Improving Water Shortages in California. In: **GEMFE 2022.**, 2022. p. 359–364.

MACEDO, Y. M.; TROLEIS, A. L.; ALMEIDA, L. Q. Water shortage: Assessment and Analysis on a Regional Scale. **Nhess.Copernicus.Org**, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/nhess-2022-86>

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Sustainability: Four billion people facing

severe water scarcity. **Science Advances**, [s. l.], v. 2, n. 2, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>

NOTARO, V.; LIUZZO, L.; FRENÍ, G. Evaluation of the optimal size of a rainwater harvesting system in Sicily. **Journal of Hydroinformatics**, [s. l.], v. 19, n. 6, p. 853–864, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/hydro.2017.150>

NGUYEN, V. M.; ICHIKAWA, Y.; ISHIDAIRA, H. Exploring optimal tank size for rainwater harvesting systems in asian tropical climates. **Hydrological Research Letters**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 1–6, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3178/hrl.12.1>

ONDERKA, M.; PECHO, J.; NEJEDLÍK, P. On how rainfall characteristics affect the sizing of rain barrels in Slovakia. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, [s. l.], v. 32, n. October, p. 1-12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100747>

PEIXOTO, F. S.; SOARES, J. A.; RIBEIRO, V. S. Conflitos pela água no Brasil. **Sociedade & Natureza**, [s. l.], v. 34, n. 1, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/sn-v34-2022-59410>

PELAK, N.; PORPORATO, A. Sizing a rainwater harvesting cistern by minimizing costs. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 541, n. August 2016, p. 1340–1347, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.036>

PRÜSS-USTÜN, A.; WOLF, J.; BARTRAM, J.; CLASEN, T.; CUMMING, O.; FREEMAN, M. C.; GORDON, B.; HUNTER, P. R.; MEDLICOTT, K.; JOHNSTON, R. Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene for selected adverse health outcomes: An updated analysis with a focus on low- and middle-income countries. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, [s. l.], v. 222, n. 5, p. 765–777, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.05.004>

RAINDROPS GROUP. **Aproveitamento da água da chuva**. Makoto Murase (Org). Tradução: Masato Kobiyama(org). Tradução de: Yatte Miyo Amamizu Riyo. Curitiba: Organic Trading, 2002. 196p.

RISSE, S. S. O.; ASANO, P. T. L.; MENDES, L. A.; SUBTIL, E. L.; BRAMBILA, M. C. V. Análise do desempenho de reservatório de uso múltiplo: estudo de caso na sub-bacia Billings. **DEMA**, V. 46, agosto 2018. DOI: 10.5380/dma.v46i0.54521. e-ISSN 2176-9109

SAMPLE, D. J.; LIU, J. Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture. **Journal of Cleaner Production**. v. 75, 15 July 2014, p.174-194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.075>

SEMAAN, M.; DAY, S. D.; GARVIN, M.; RAMAKRISHNAN, N.; PEARCE, A. Optimal sizing of rainwater harvesting systems for domestic water usages: A systematic literature review. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 6, p. 12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100033>

SILVA, C. S.; ATHAYDE JUNIOR, G. B.; MELO, T. A. Influência da demanda e da

área de captação no Dimensionamento de reservatórios de água de chuva em regiões semiáridas. In: **XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Foz do Iguaçu/PR, 2019.

SILVA, C. S.; ATHAYDE JUNIOR, G. B.; ALMEIDA, C. N. Influência da demanda no volume de reservatórios para armazenamento de água de chuva dimensionados pelo Método de *Rippl*. **Revista DAE**, [s. l.], v. 70, n. 238, p. 125–135, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.36659/dae.2022.073>

SILVEIRA, A.; ANDRADE, E.; ARAÚJO, T.. Dimensionamento de um reservatório para aproveitamento de água da chuva em um ginásio poliesportivo na cidade de Natal-RN. **Carpe Diem: Revista Cultural e Científica do UNIFACEX**. v. 16, n. 2, 2018. ISSN: 2237 – 8685.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento De Água De Chuva**. Capítulo 1 - Conceito de aproveitamento de água de chuva. [S. l.: s. n.], 2010a.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento De Água De Chuva**. Capítulo 3-Previsão de consumo de água. [s. l.], p. 1–14, 2010b.

TZANAKAKIS, V. A.; PARANYCHIANAKIS, N. V.; ANGELAKIS, A. N. Water supply and water scarcity. **Water (Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 9, p. 1–16, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w12092347>

UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **Relatorio mundial da ONU sobre recursos - hídricos**. [S. l.: s. n.], 2019.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. O valor da água. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2021**, [s. l.], p. 12, 2021. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751_por

VAZQUEZ, E.G., SOUZA, P. DE, NETO, G., MIGUEZ, G.. Proposta de implantação de sistema de aproveitamento de água de chuva e análise comparativa dos métodos de dimensionamento de reservatório segundo a NBR 15527:2007. In: **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis, 2017.

VERAS, L.D.L., SOARES, L.W.F., SILVA NETO, M.R., RODRIGUES, M.G. S., SILVA, A.C.F., GALDINO, M.R.L., PUREZA, S.V.B., MENDONÇA, M.H.R.. Diarreia e gastroenterites de origem infecciosa presumível: análise do perfil epidemiológico nas regiões do Brasil no período de 2012 a 2020. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 11, n. 7, p. e52711730295, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30295>

VUONG, N. M.; ICHIKAWA, Y.; ISHIDAIRA, H. Performance assessment of rainwater harvesting considering rainfall variations in Asian tropical monsoon climates. **Hydrological Research Letters**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 27–33, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3178/hrl.10.27>

WWF-BRASIL. Brasil perde 15% de superfície de água desde os anos 1990. c2021. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/nossosconteudos/educacaoambiental/bibliotecavirtual/?79608/brasil-perde-15-porcento-de-superficie-de-agua-desde-o-comeco-dos-anos-1990>. Acesso em: dezembro de 2022.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4518>

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. An update of Xavier, King and Scanlon (2016) daily precipitation gridded data set for the Brazil. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Santos, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr/papers/an-update-of-xavier--king-and-scanlon--2016--daily-precipitation-gridded-data-set-for-the-brazil> Acesso em: 02 de dezembro de 2019.

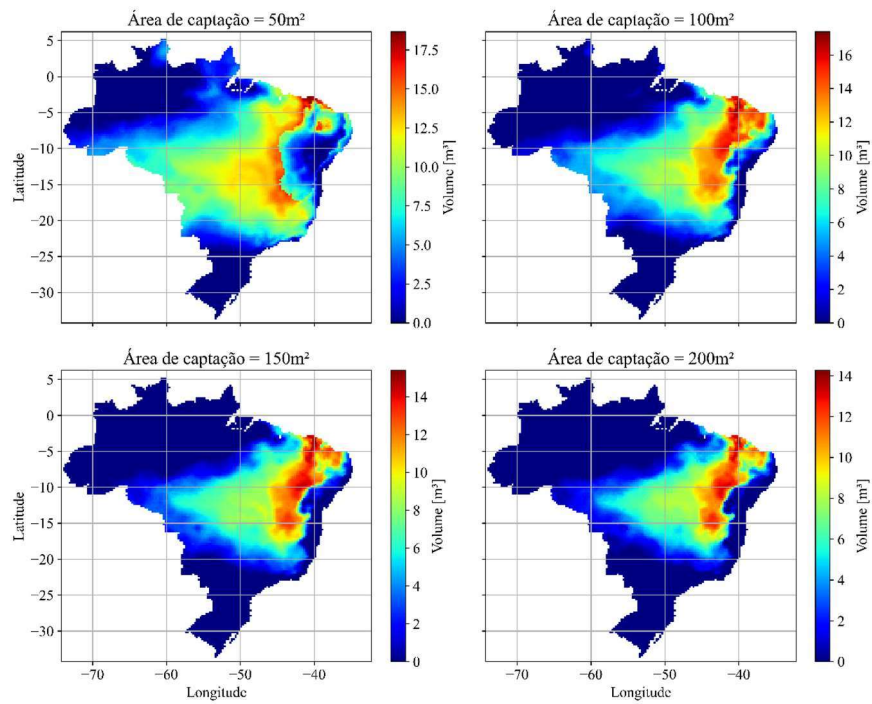
ZHANG, S.; ZHANG, J.; YUE, T.; JING, X. Impacts of climate change on urban rainwater harvesting systems. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 665, p. 262–274, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.135>

APÊNDICE A

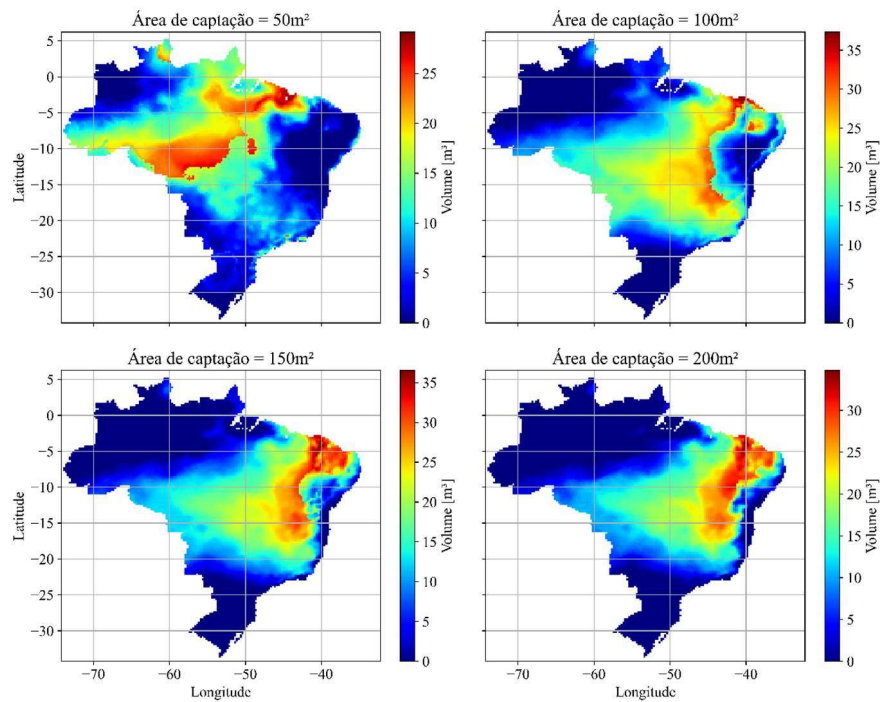
Painéis de imagens	Páginas
1. Volumes dos reservatórios	112
2. Volumes aproveitáveis médios num ciclo anual	127
3. Coeficientes de Eficiência Volumétrica	142
4. Coeficientes de Ociosidade Volumétrica	157
5. Coeficientes de Transbordamento Volumétrico	172

Volumes dos reservatórios

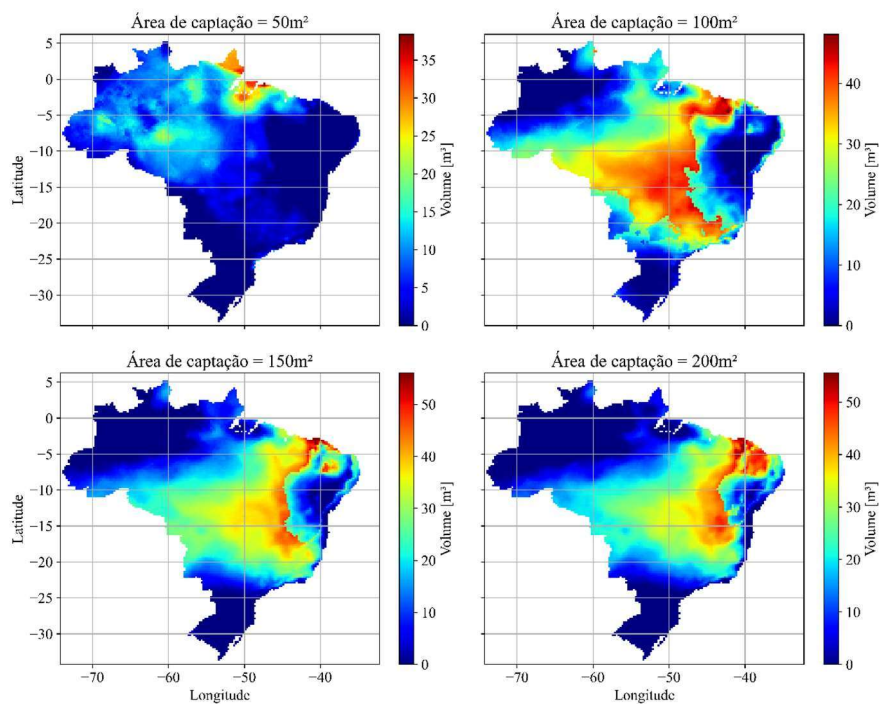
Volumes dos reservatórios - método de Rippl (mensal) - 100L/d



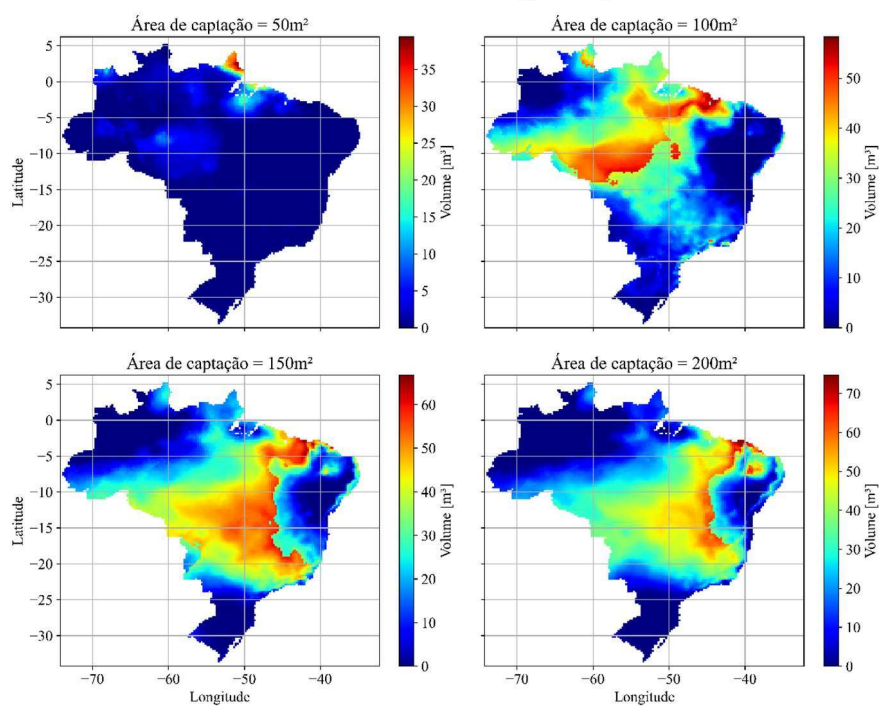
Volumes dos reservatórios - método de Rippl (mensal) - 200L/d



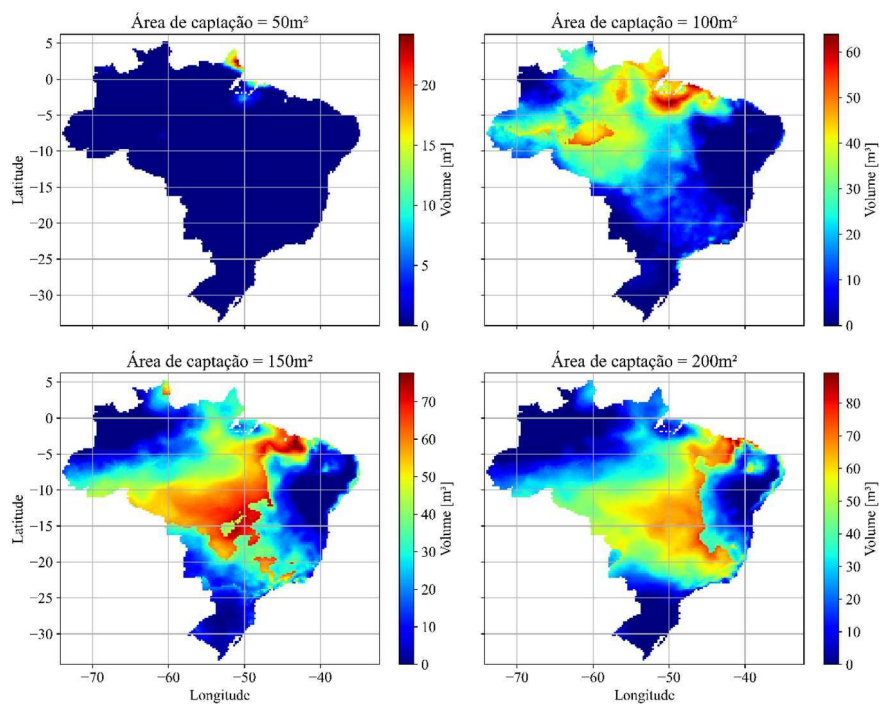
Volumes dos reservatórios - método de Rippl (mensal) - 300L/d



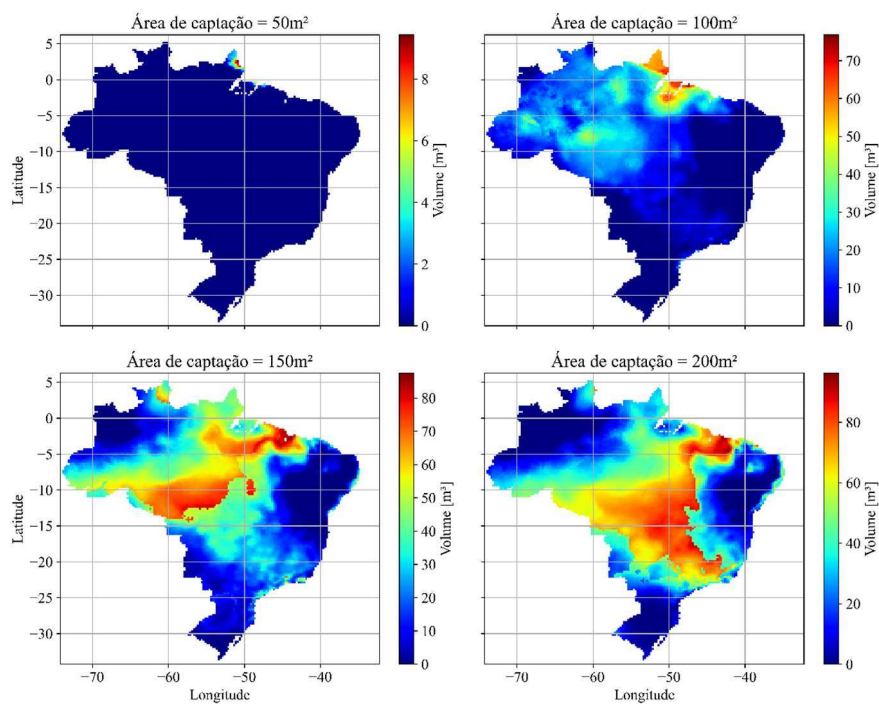
Volumes dos reservatórios - método de Rippl (mensal) - 400L/d



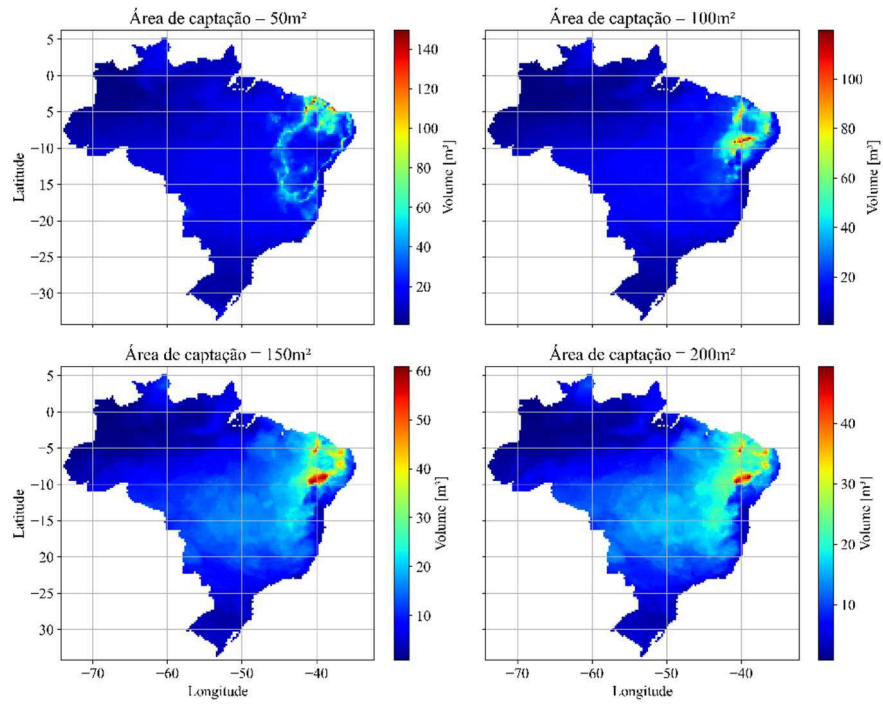
Volumes dos reservatórios - método de Rippl (mensal) - 500L/d



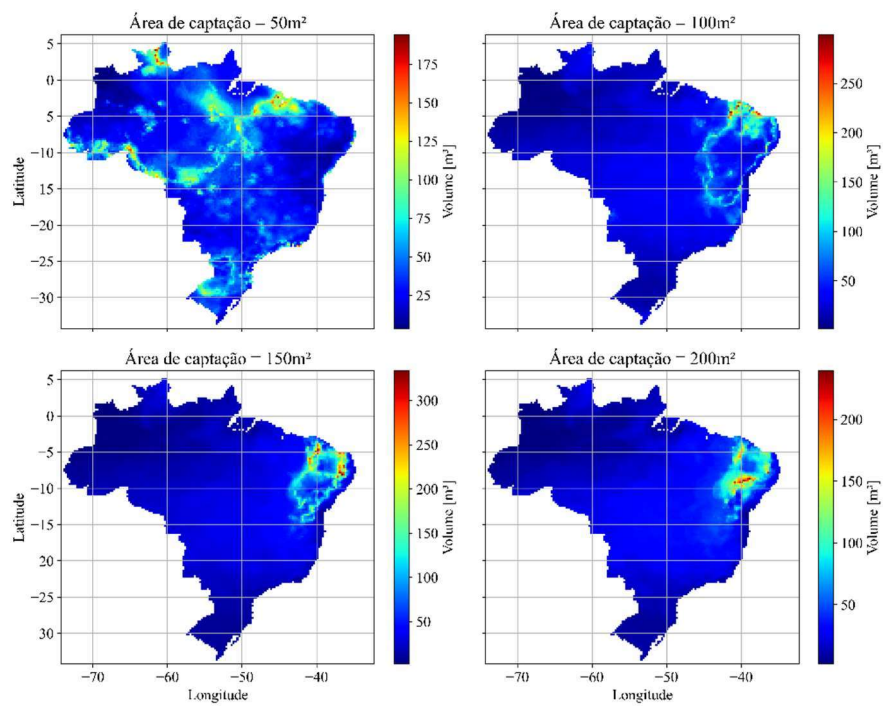
Volumes dos reservatórios - método de Rippl (mensal) - 600L/d



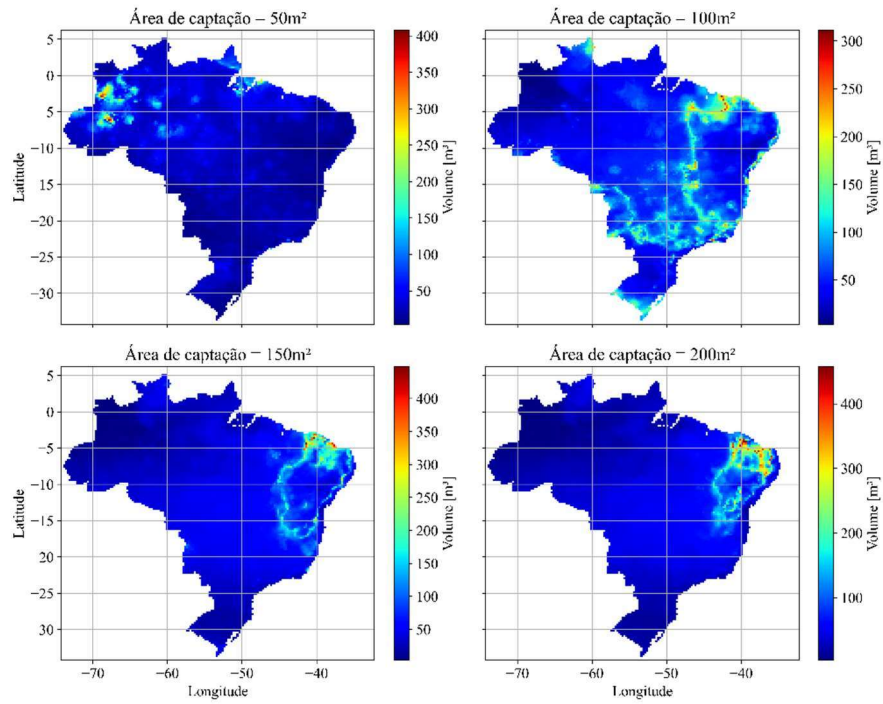
Volumes dos reservatórios - método de Rippl (diário) - 100L/d



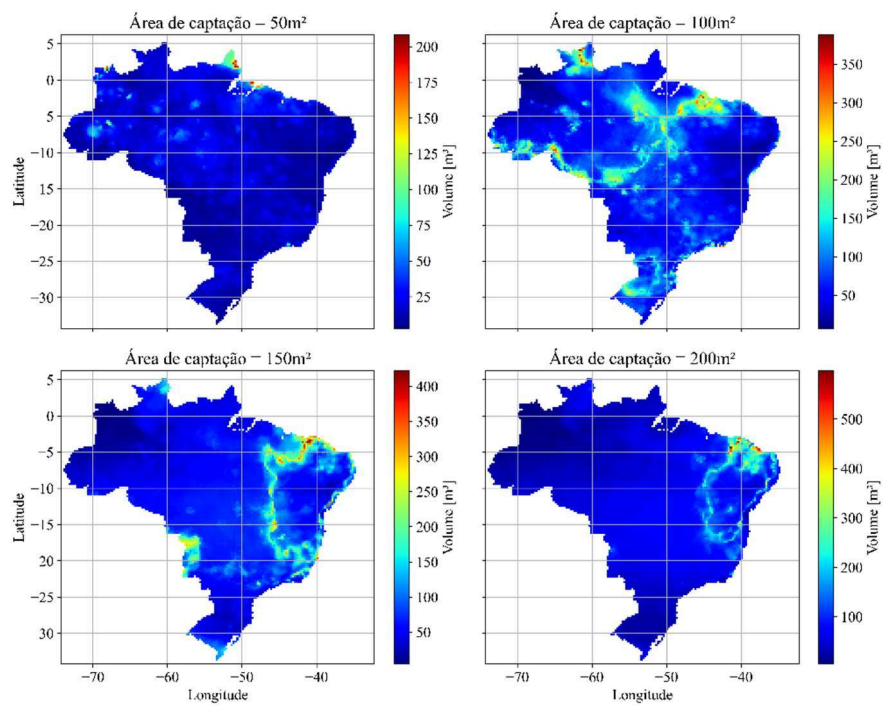
Volumes dos reservatórios - método de Rippl (diário) - 200L/d



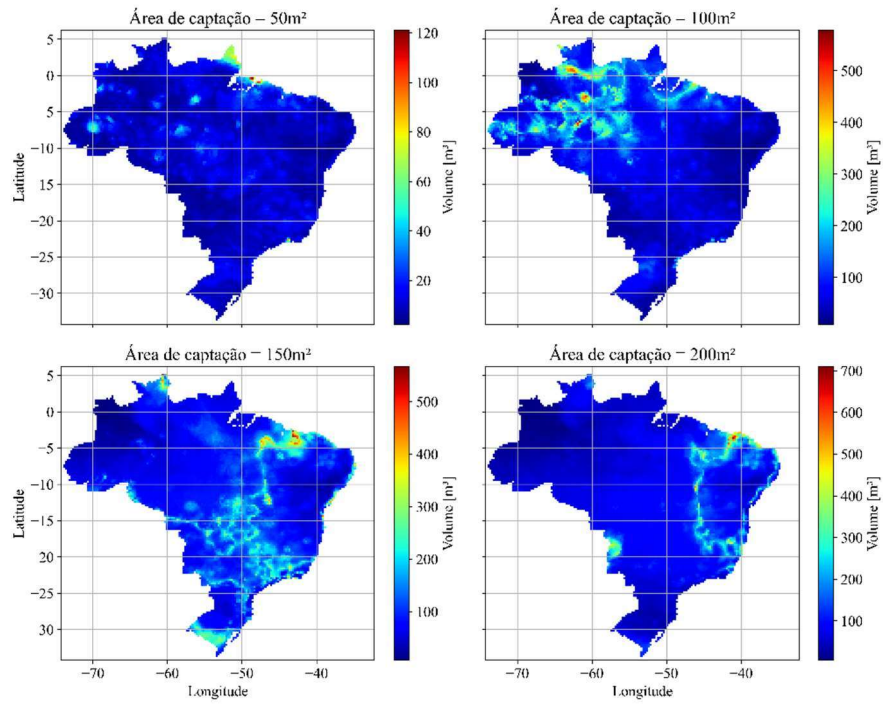
Volumes dos reservatórios - método de Rippl (diário) - 300L/d



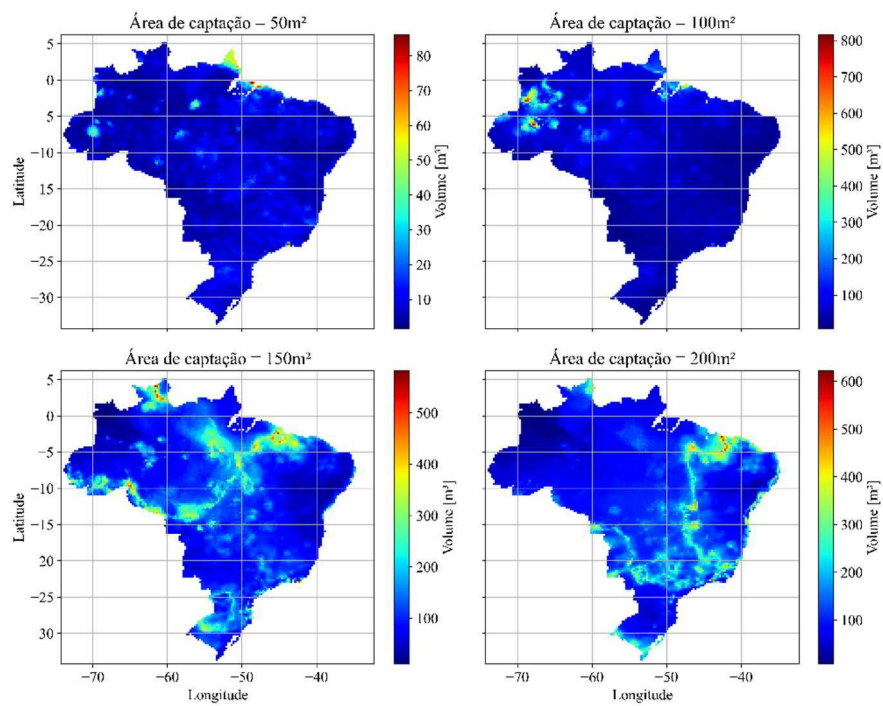
Volumes dos reservatórios - método de Rippl (diário) - 400L/d



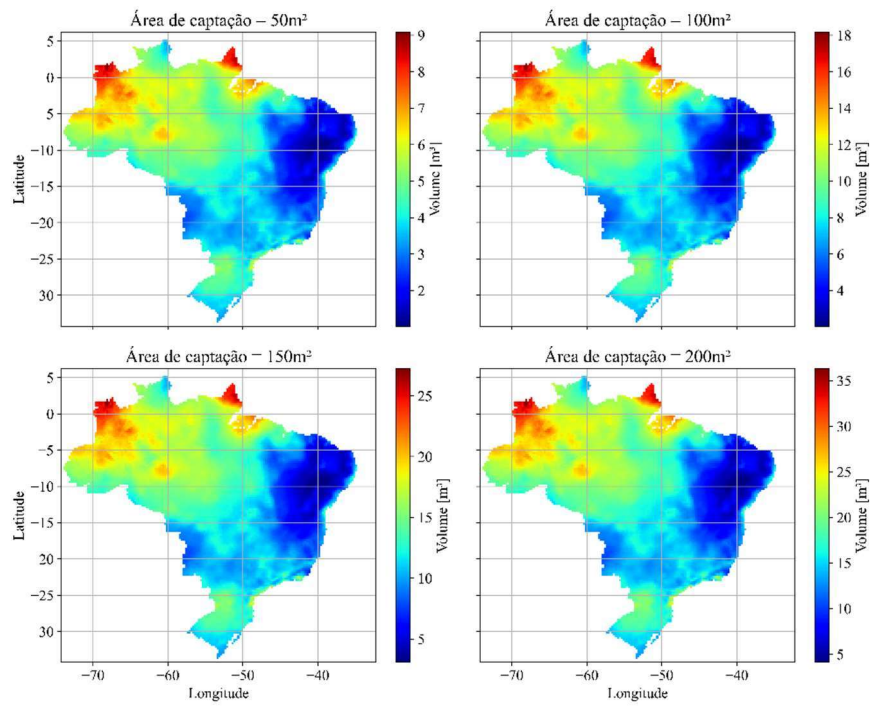
Volumes dos reservatórios - método de Rippl (diário) - 500L/d



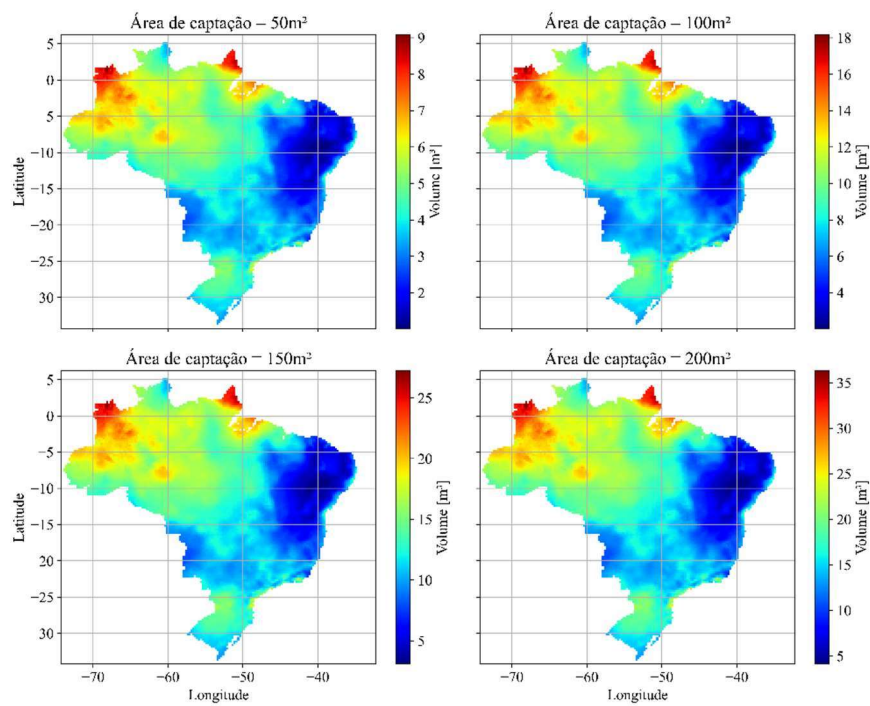
Volumes dos reservatórios - método de Rippl (diário) - 600L/d



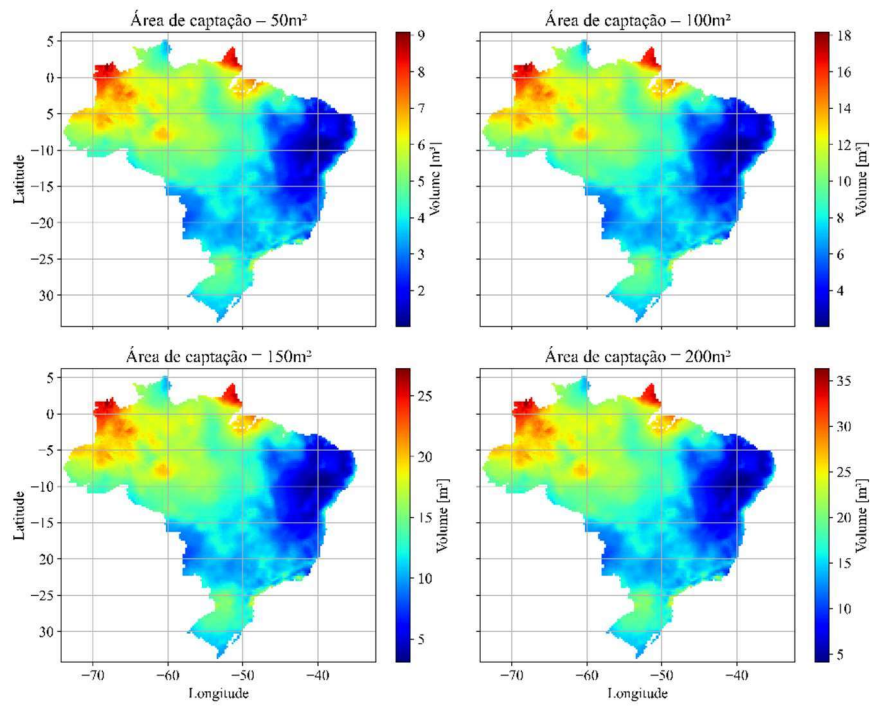
Volumes dos reservatórios - método prático Inglês - 100L/d



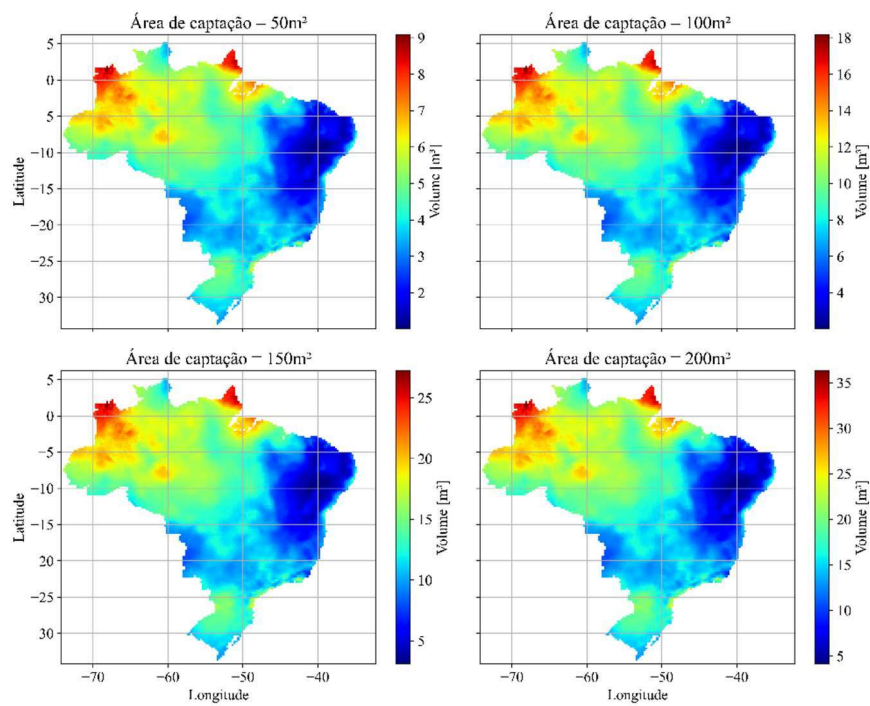
Volumes dos reservatórios - método prático Inglês - 200L/d



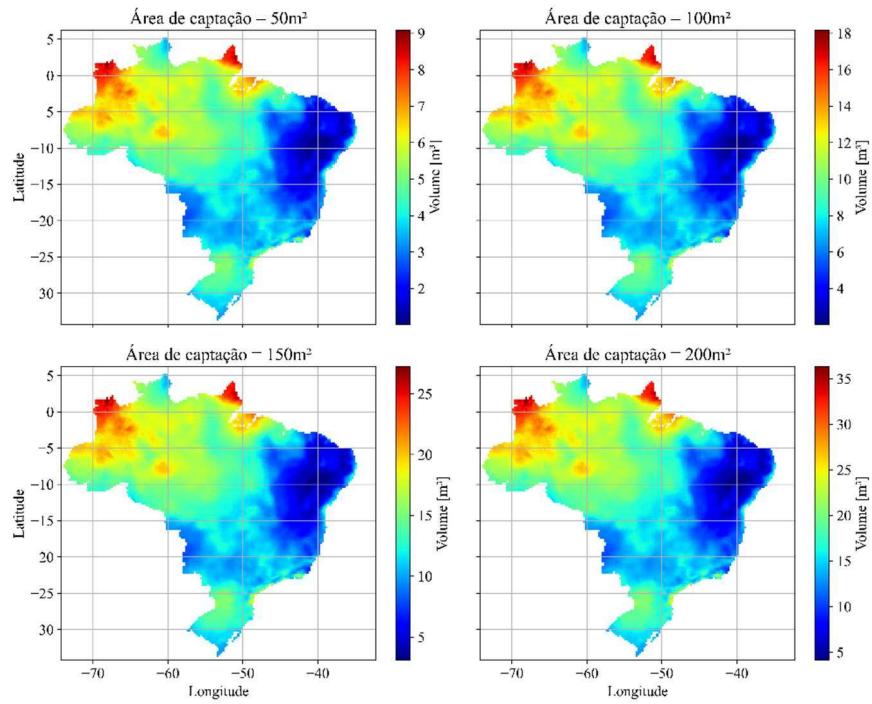
Volumes dos reservatórios - método prático Inglês - 300l/d



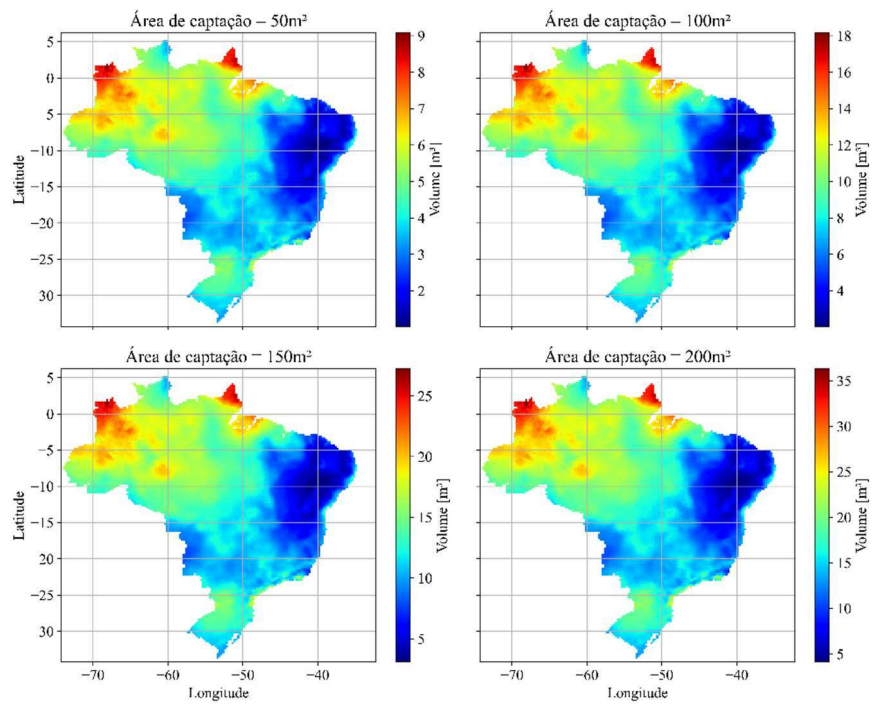
Volumes dos reservatórios - método prático Inglês - 400l/d



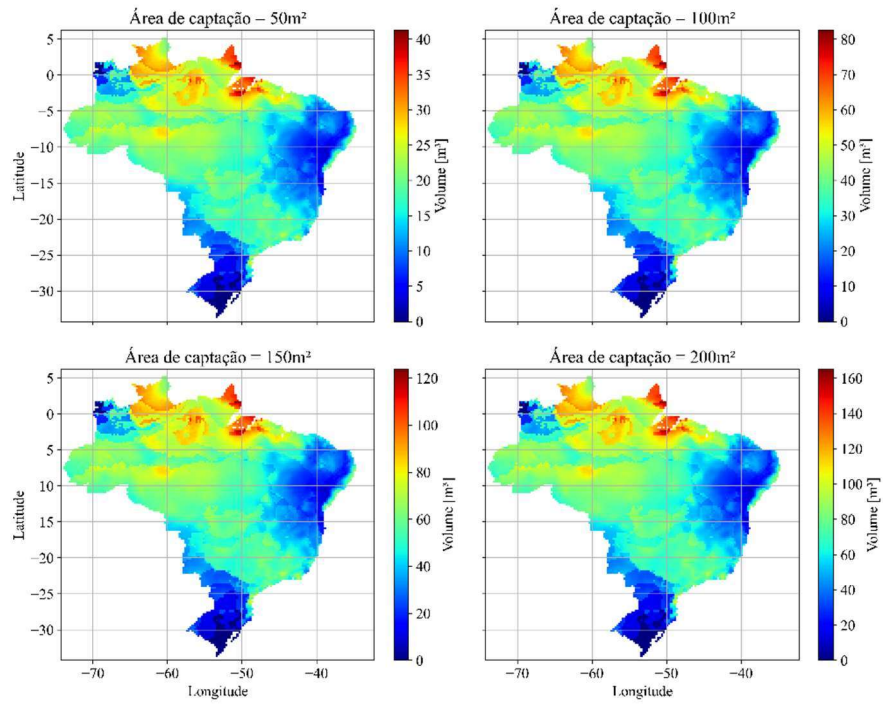
Volumes dos reservatórios - método prático Inglês - 500L/d



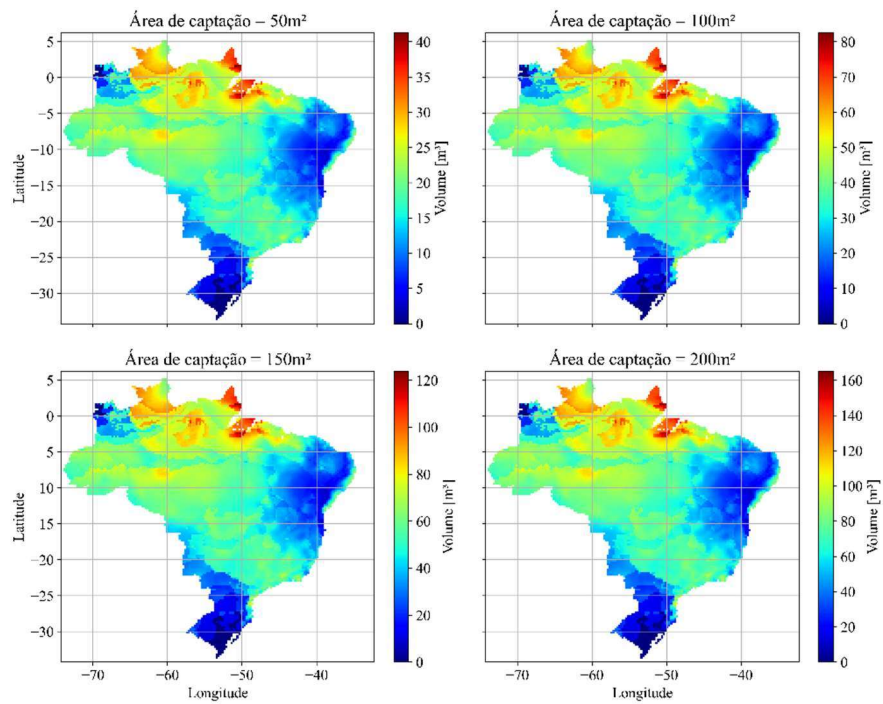
Volumes dos reservatórios - método prático Inglês - 600L/d



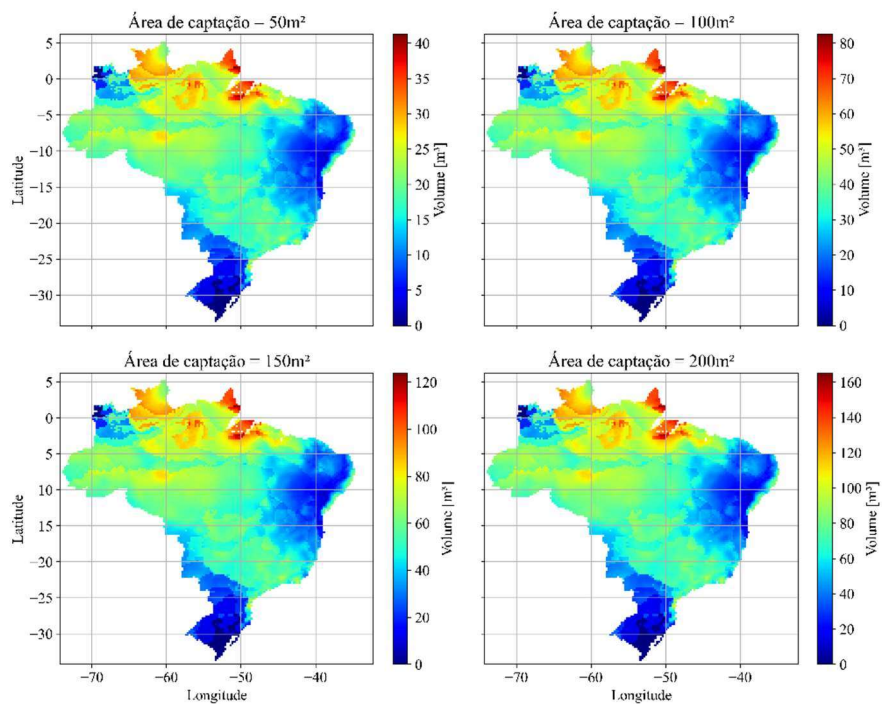
Volumes dos reservatórios - método Azevedo Neto - 100l/d



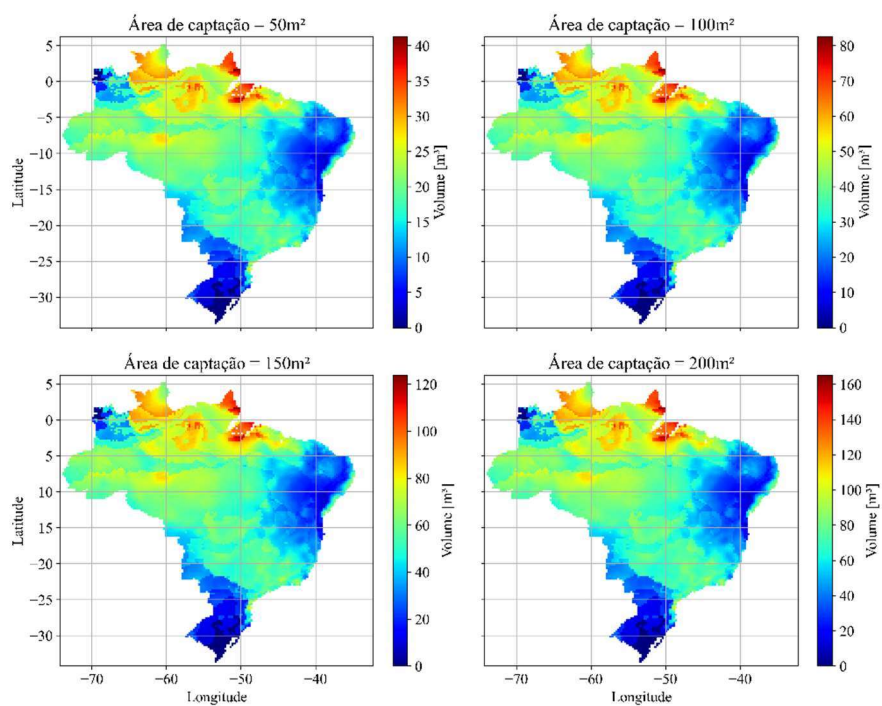
Volumes dos reservatórios - método Azevedo Neto - 200l/d



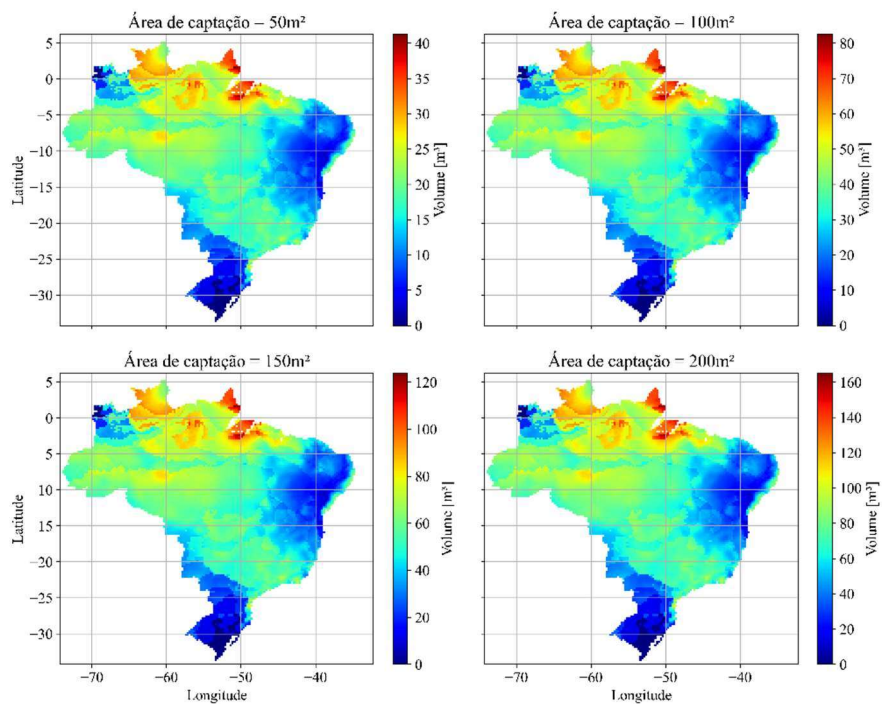
Volumes dos reservatórios - método Azevedo Neto - 300l/d



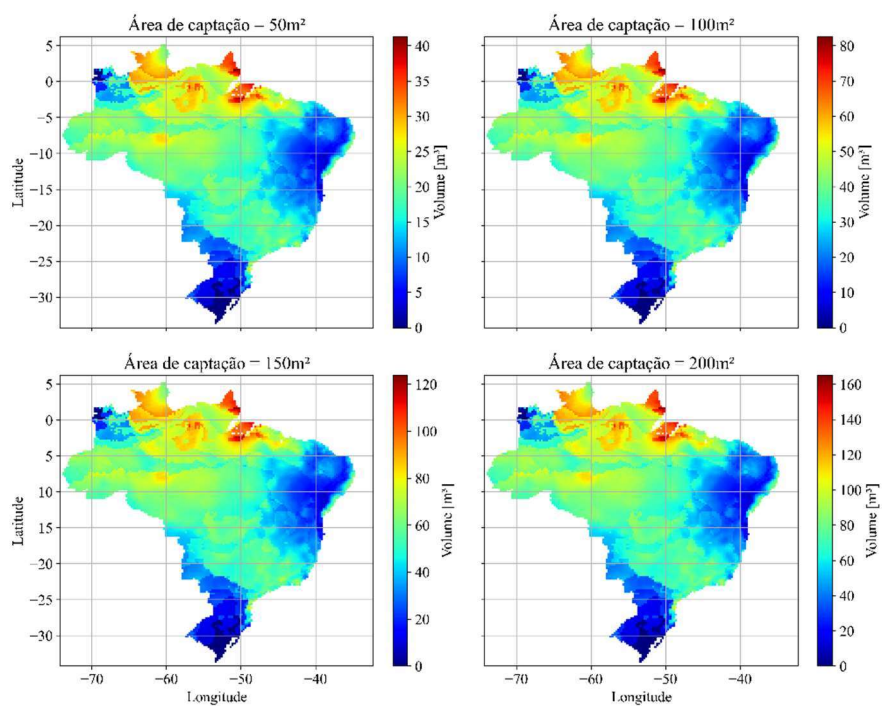
Volumes dos reservatórios - método Azevedo Neto - 400l/d



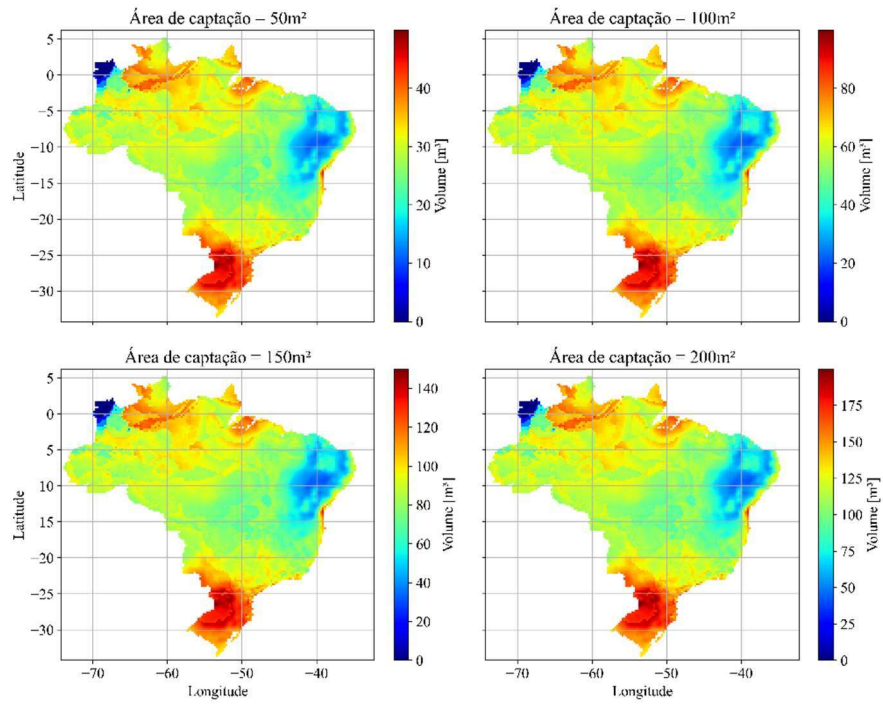
Volumes dos reservatórios - método Azevedo Neto - 500l/d



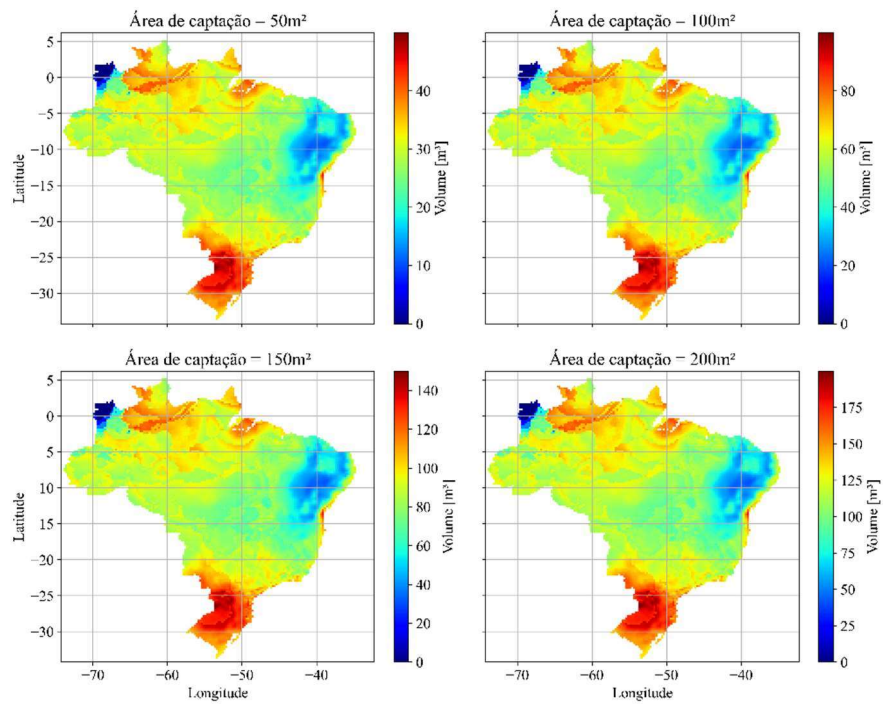
Volumes dos reservatórios - método Azevedo Neto - 600l/d



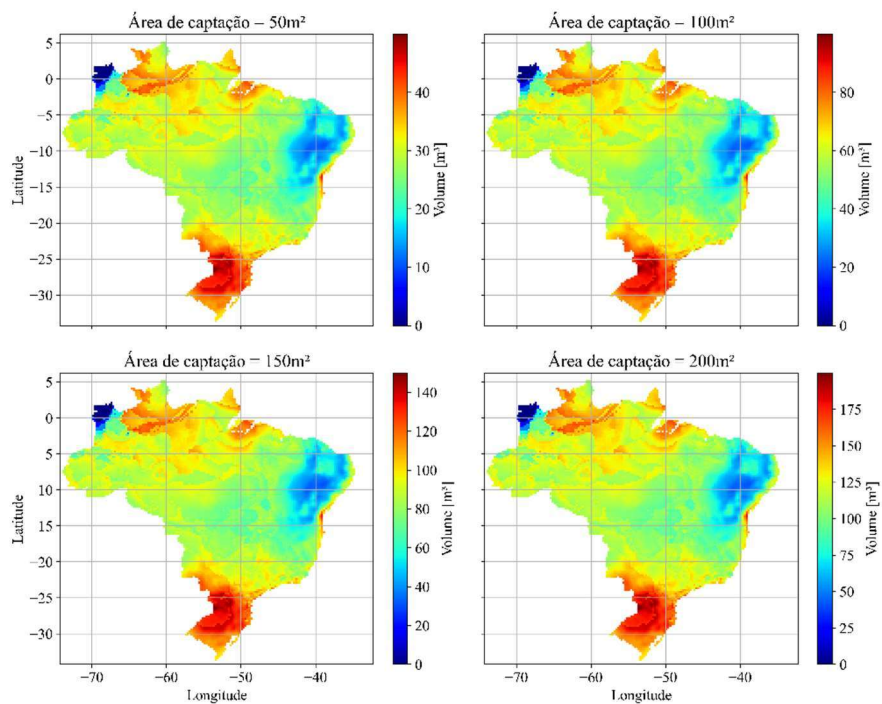
Volumes dos reservatórios - método Azevedo Neto (Mês seco < 210mm) - 100L/d



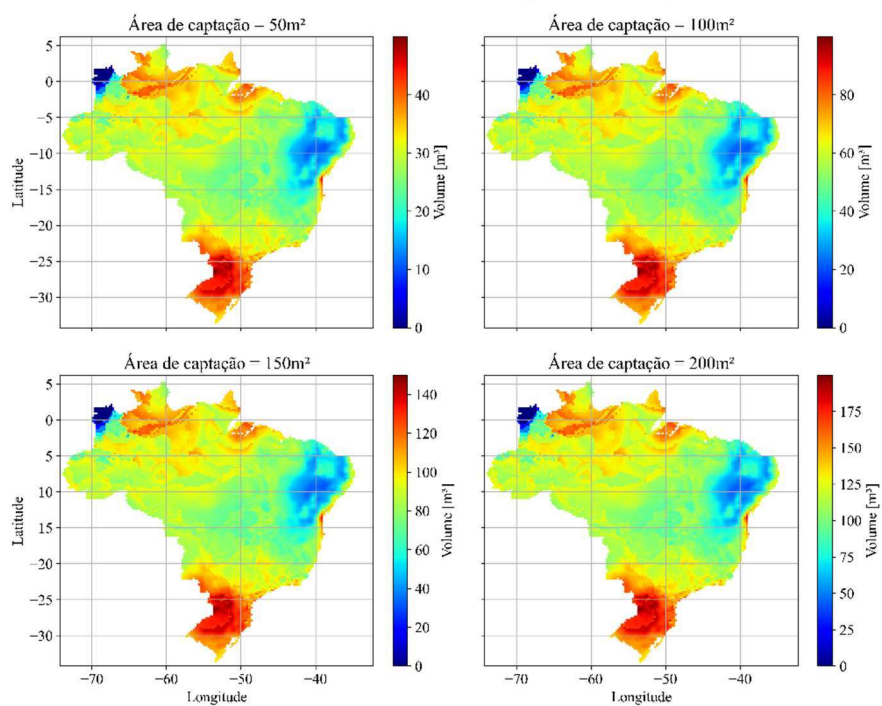
Volumes dos reservatórios - método Azevedo Neto (Mês seco < 210mm) - 200L/d



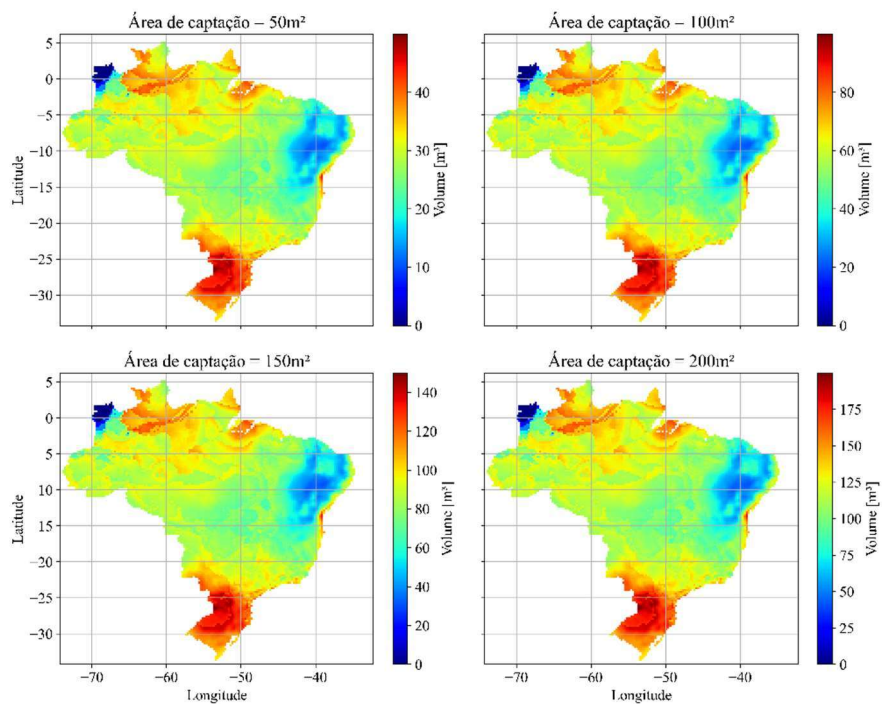
Volumes dos reservatórios - método Azevedo Neto (Mês seco < 210mm) - 300L/d



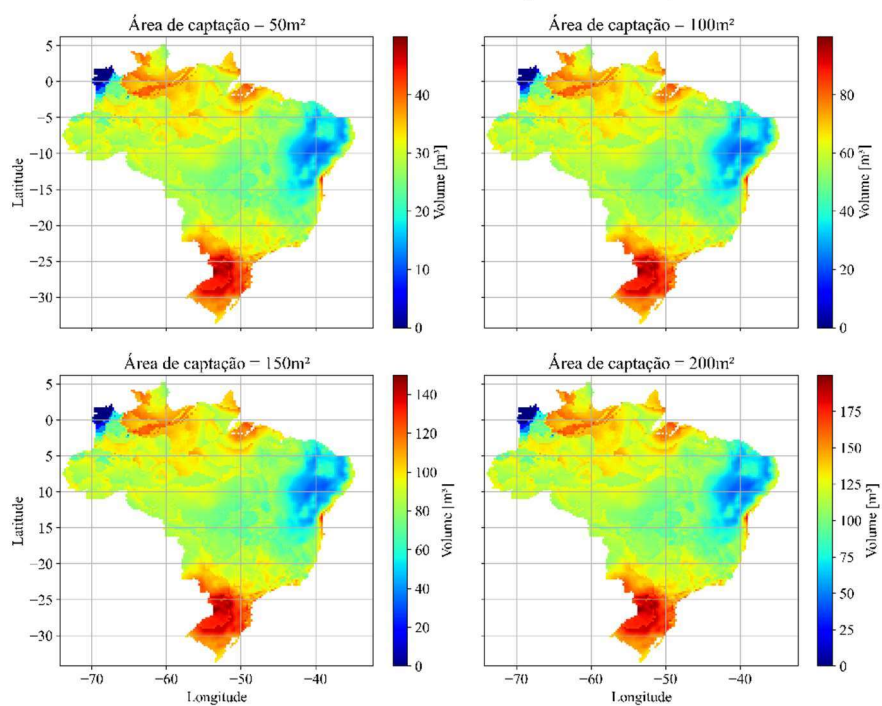
Volumes dos reservatórios - método Azevedo Neto (Mês seco < 210mm) - 400L/d



Volumes dos reservatórios - método Azevedo Neto (Mês seco < 210mm) - 500L/d

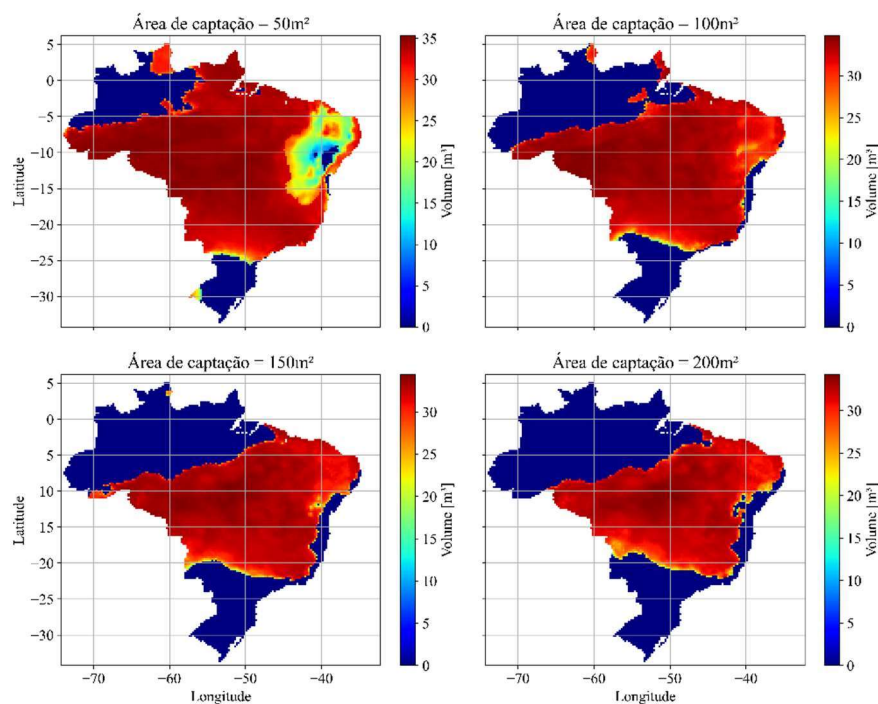


Volumes dos reservatórios - método Azevedo Neto (Mês seco < 210mm) - 600L/d

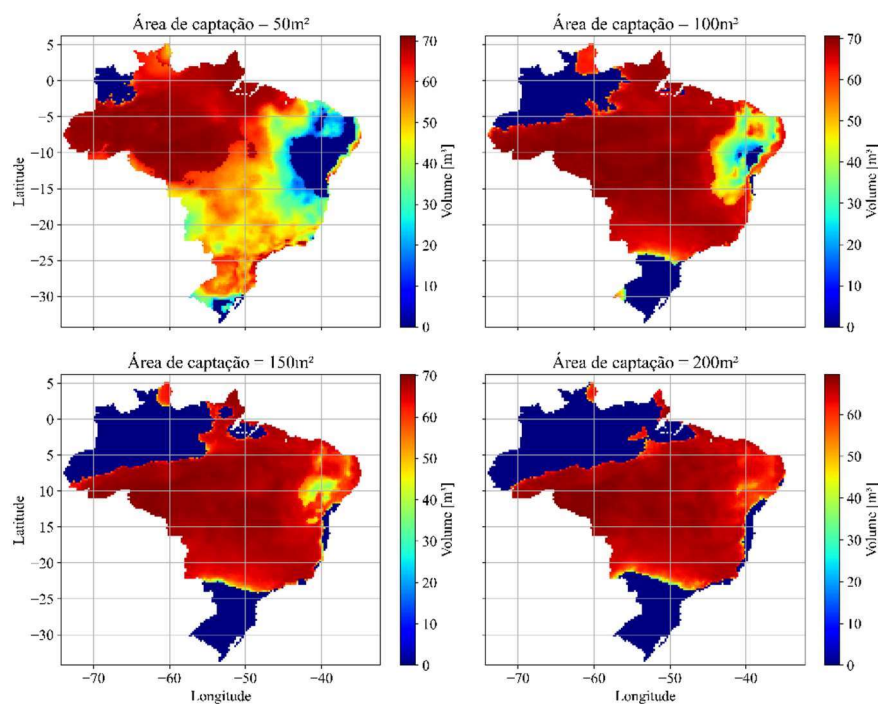


Volumes aproveitáveis médios num ciclo anual

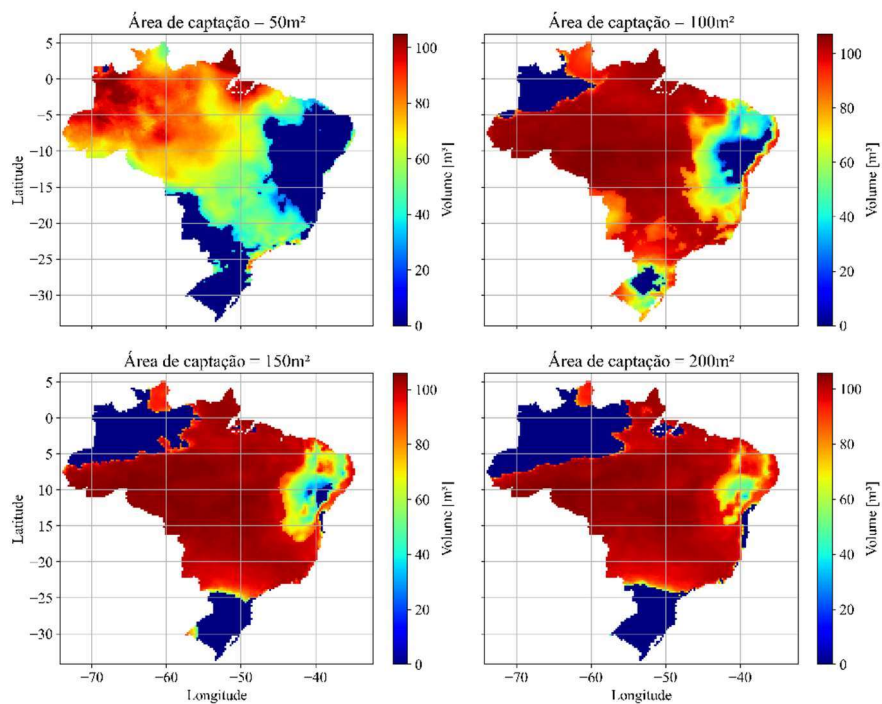
Volumes aproveitáveis médios anuais demanda 100L/dia- método de Rippl (mensal)



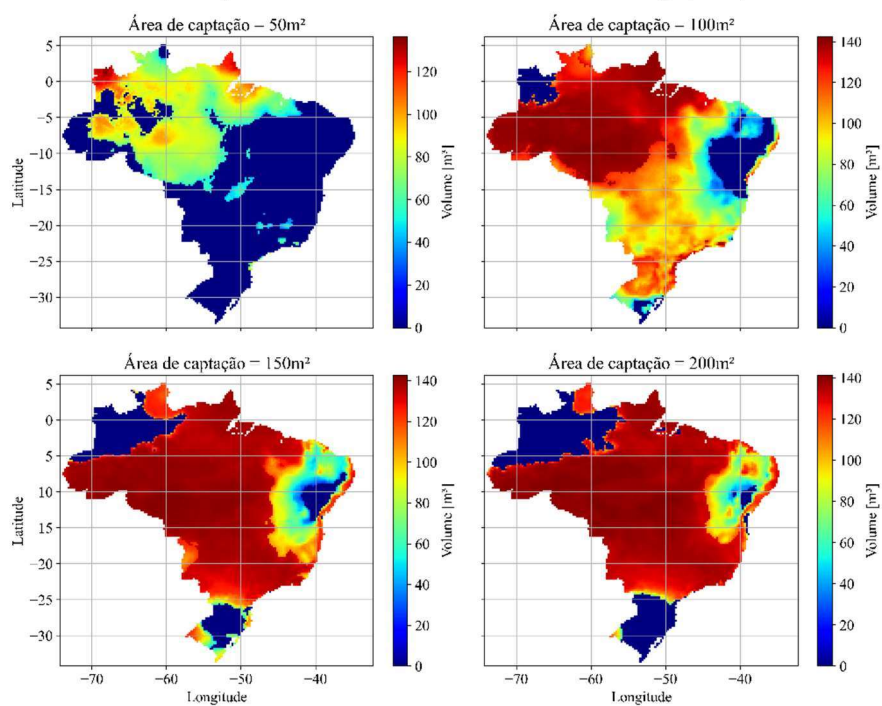
Volumes aproveitáveis médios anuais demanda 200L/dia- método de Rippl (mensal)



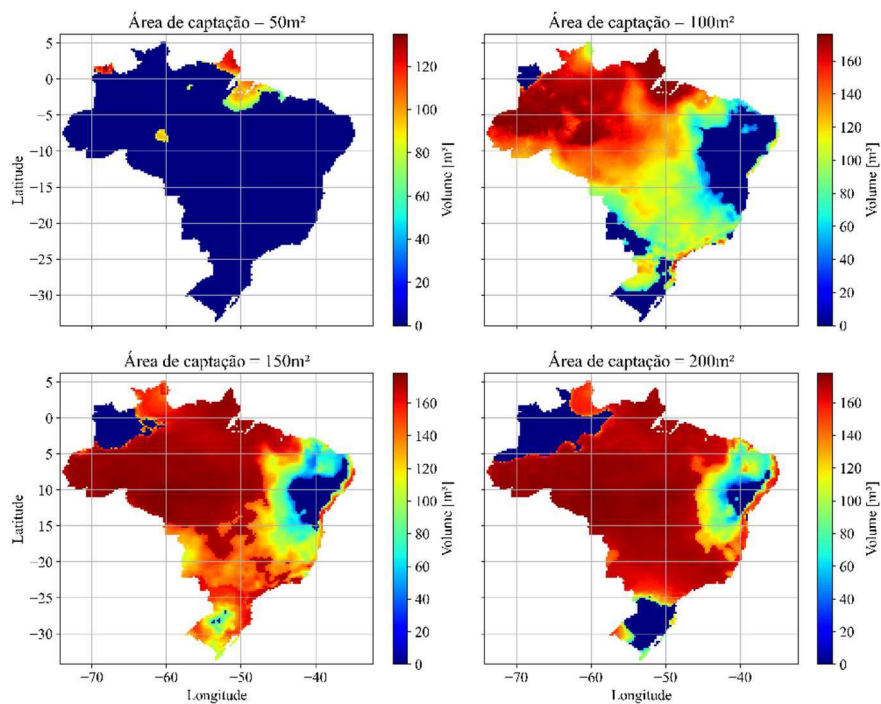
Volumes aproveitáveis médios anuais demanda 300L/dia- método de Rippl (mensal)



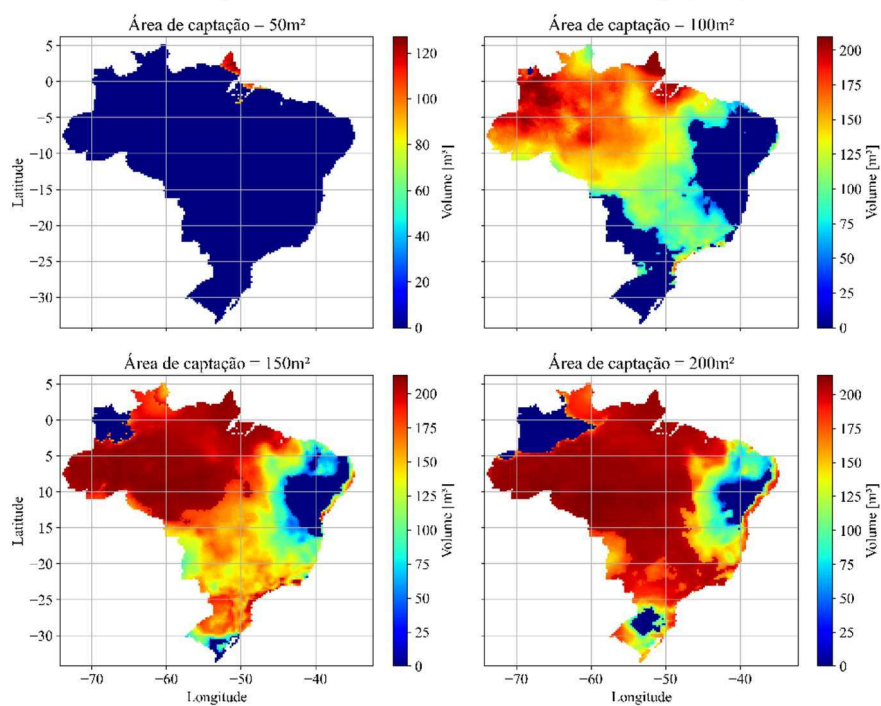
Volumes aproveitáveis médios anuais demanda 400L/dia- método de Rippl (mensal)



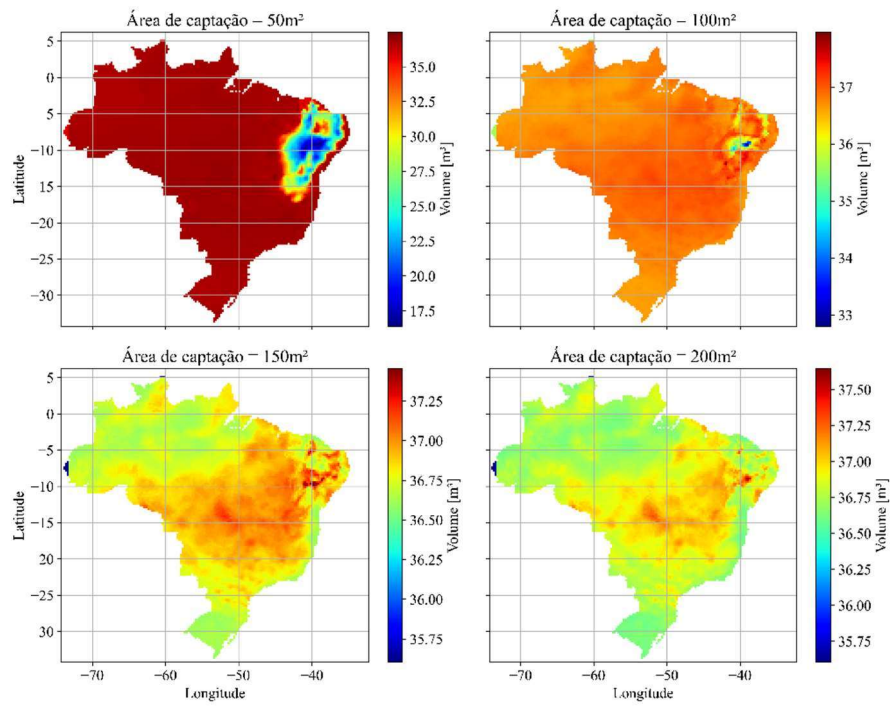
Volumes aproveitáveis médios anuais demanda 500L/dia- método de Rippl (mensal)



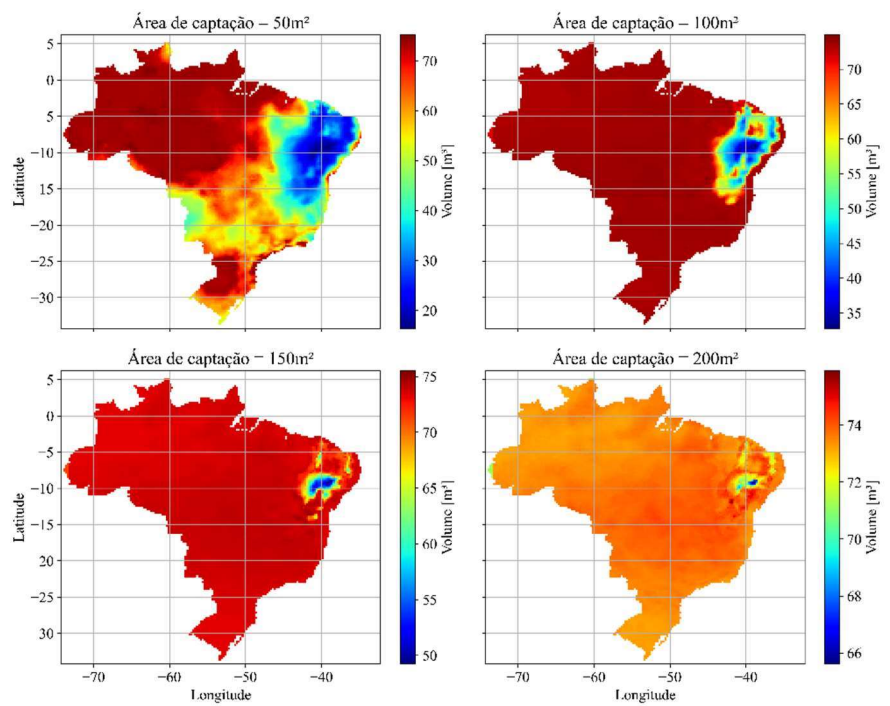
Volumes aproveitáveis médios anuais demanda 600L/dia- método de Rippl (mensal)



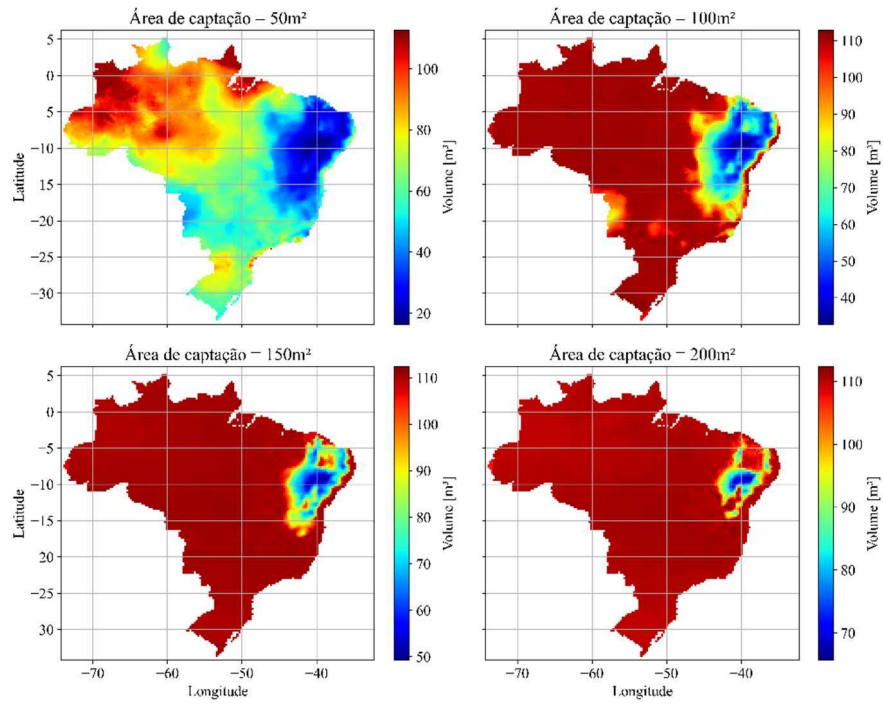
Volumes aproveitáveis médios anuais - método de Rippl (diário) - D=100L/dia



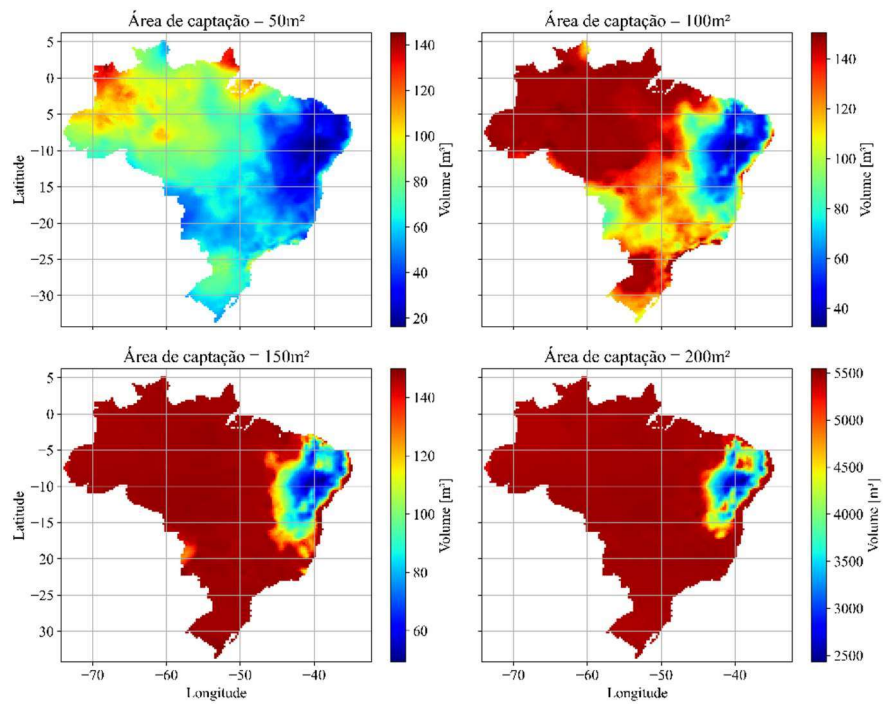
Volumes aproveitáveis médios anuais - método de Rippl (diário) - D=200L/dia



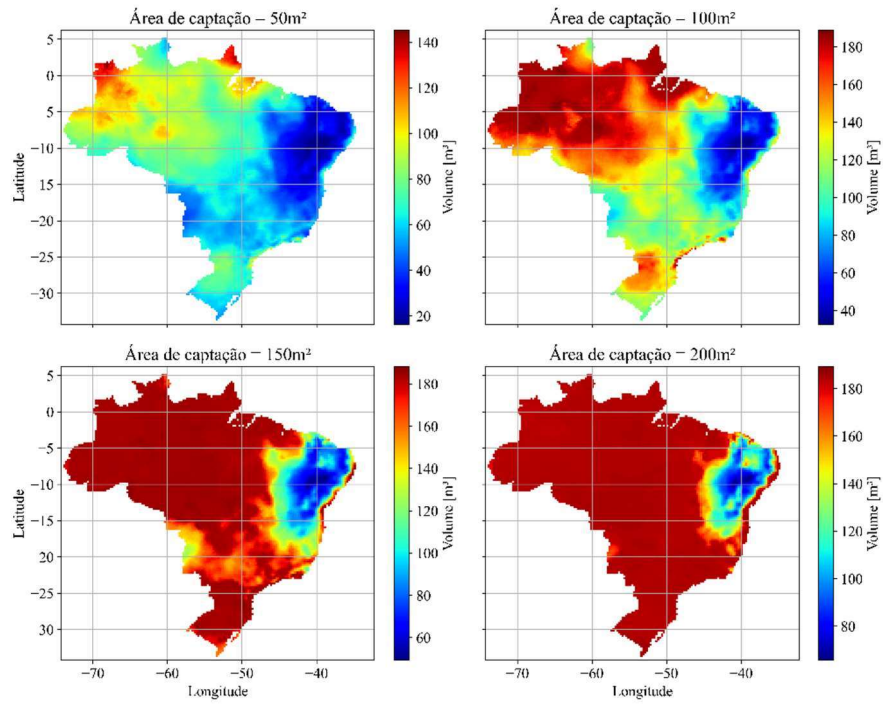
Volumes aproveitáveis médios anuais - método de Rippl (diário) - D-300L/dia



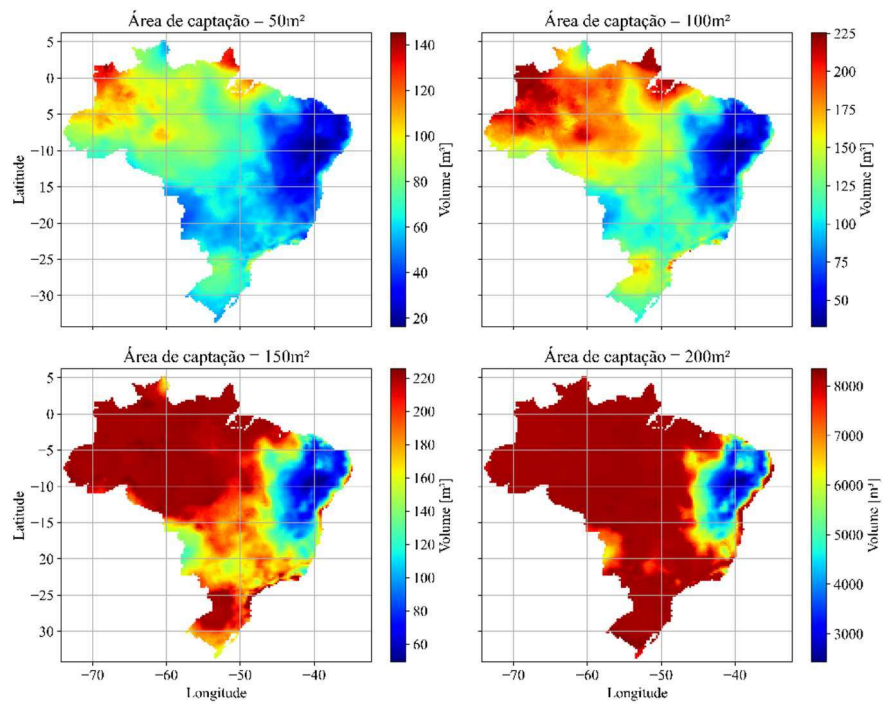
Volumes aproveitáveis médios anuais - método de Rippl (diário) - D-400L/dia



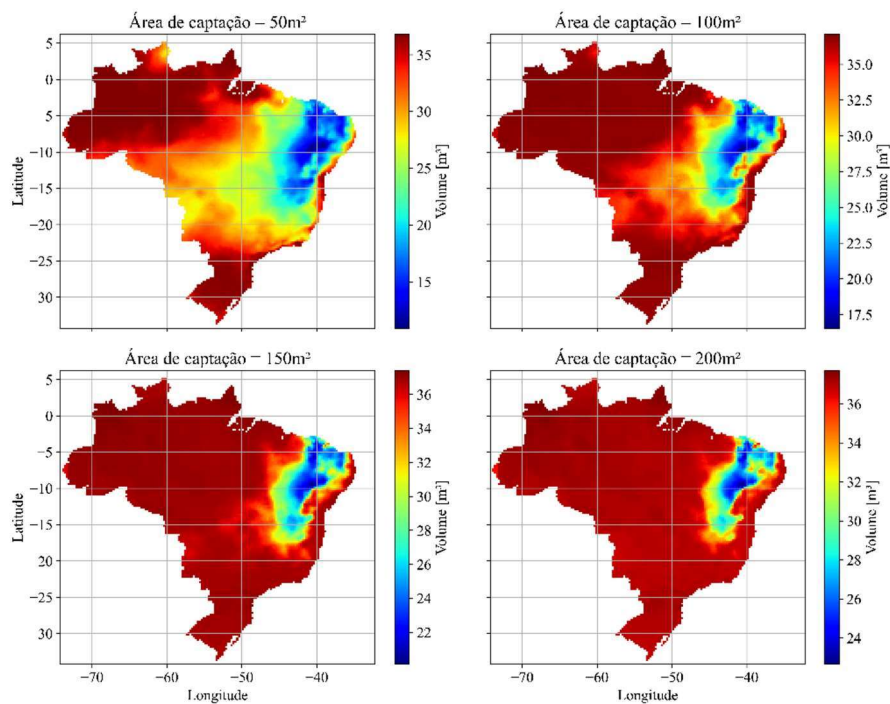
Volumes aproveitáveis médios anuais - método de Rippl (diário) - D-500L/dia



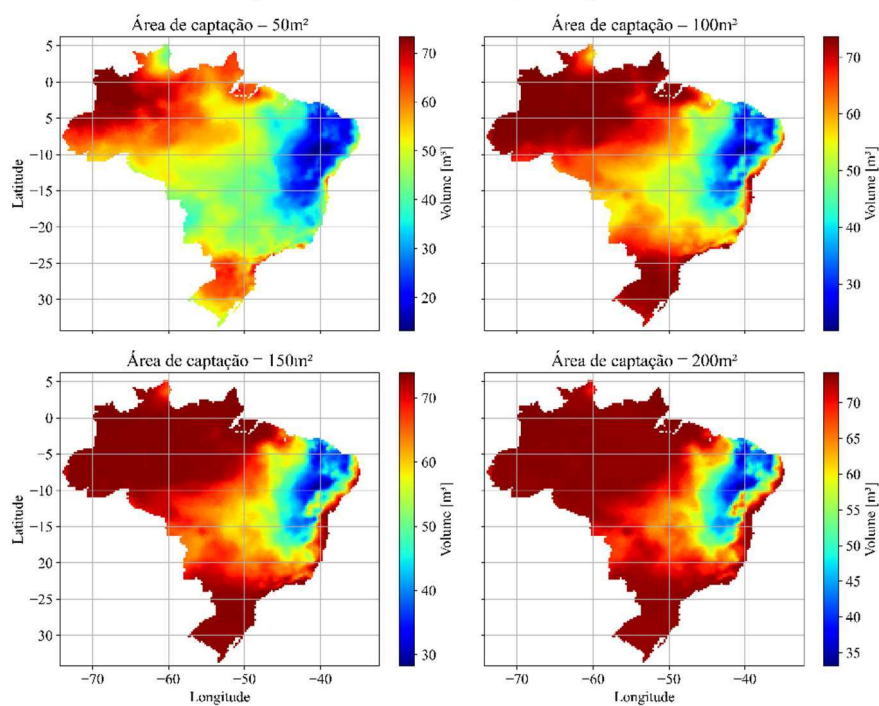
Volumes aproveitáveis médios anuais - método de Rippl (diário) - D-600L/dia



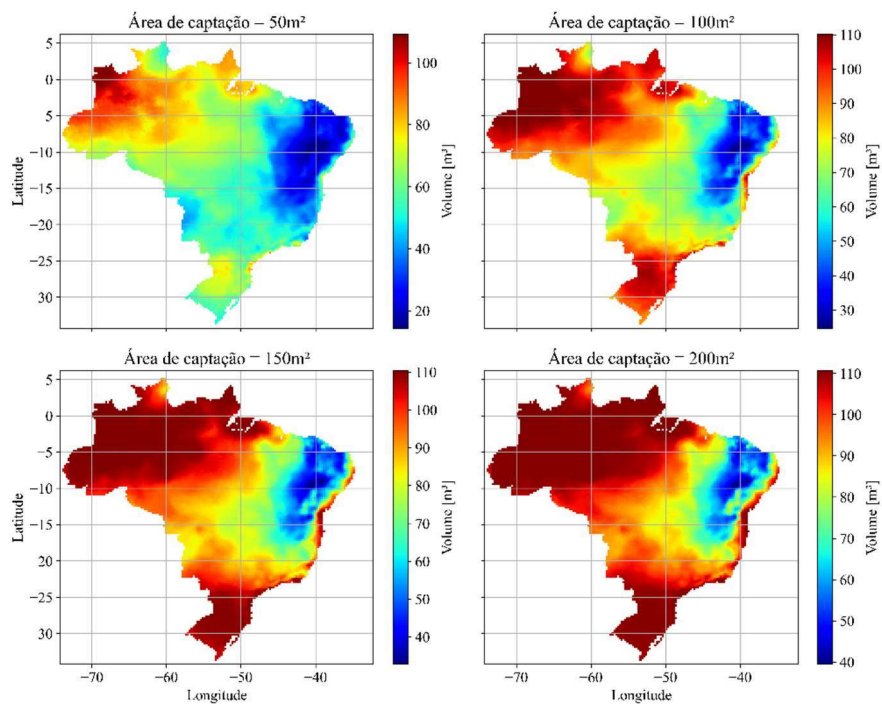
Volumes aproveitáveis médios anuais - método prático Inglês - D=100l/dia



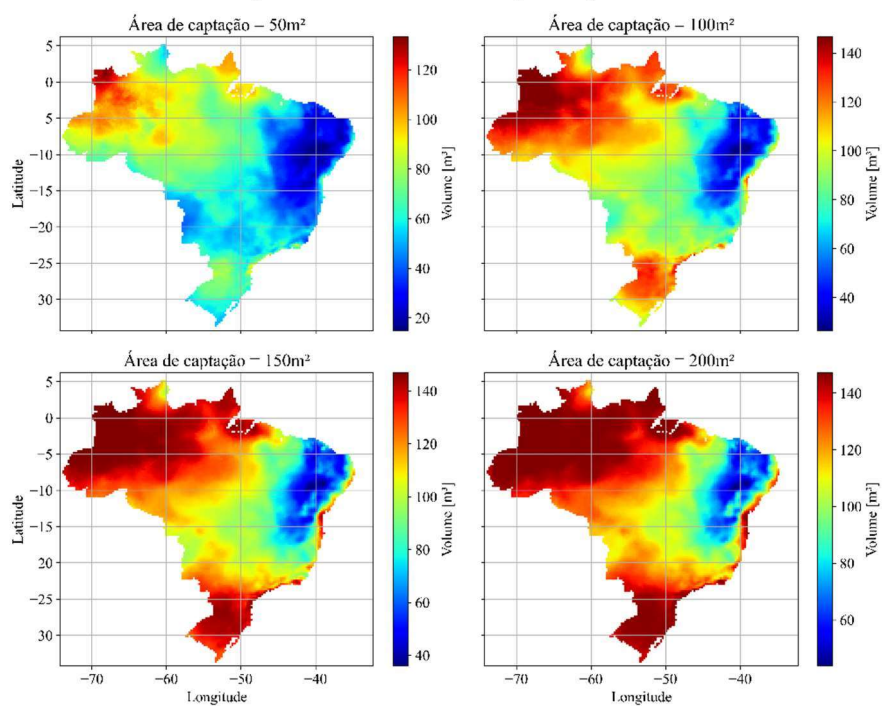
Volumes aproveitáveis médios anuais - método prático Inglês - D=200l/dia



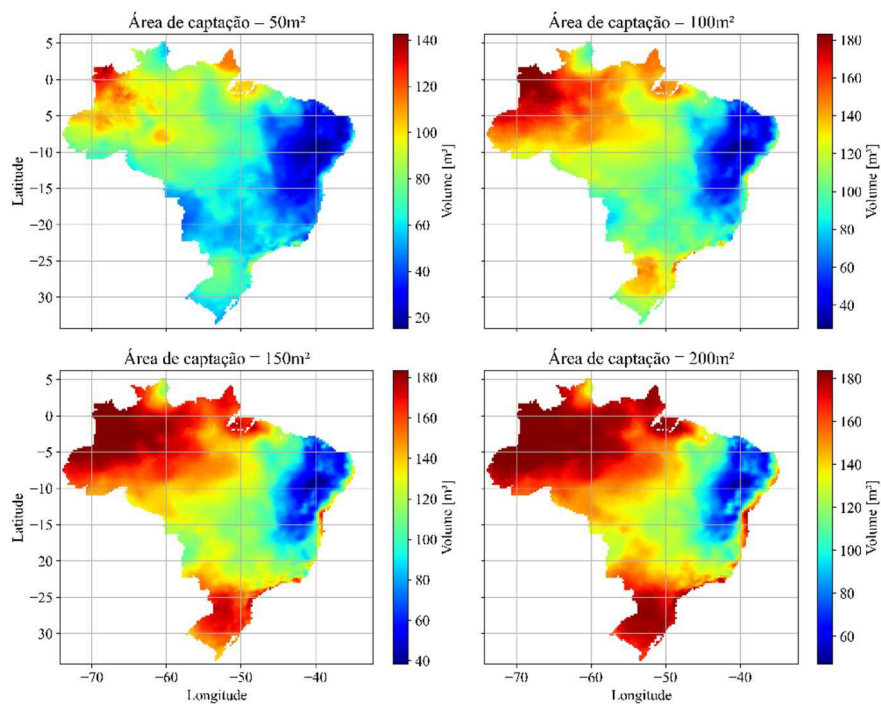
Volumes aproveitáveis médios anuais - método prático Inglês - D=300L/dia



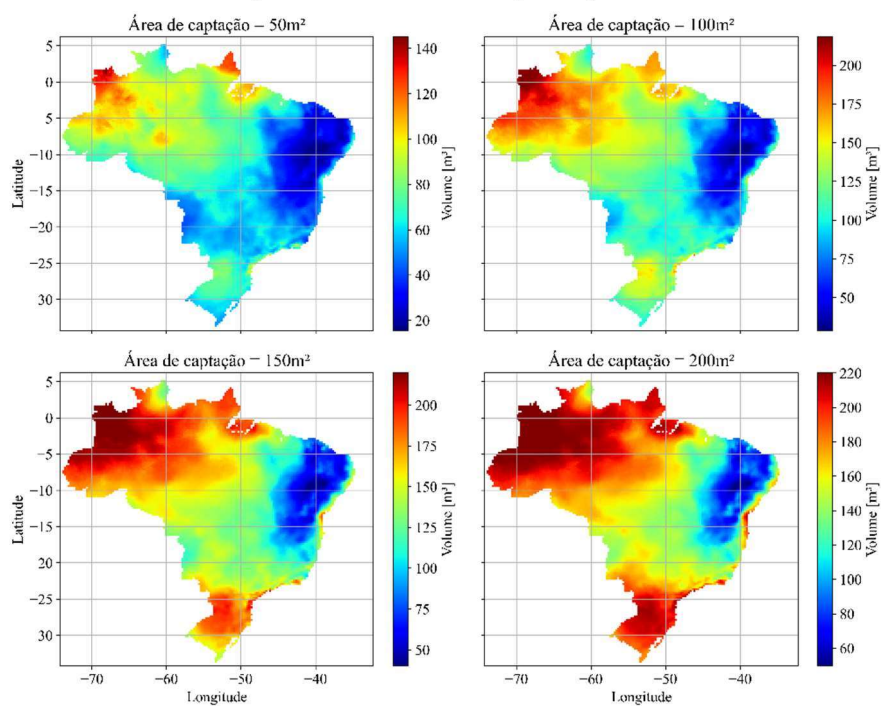
Volumes aproveitáveis médios anuais - método prático Inglês - D=400L/dia



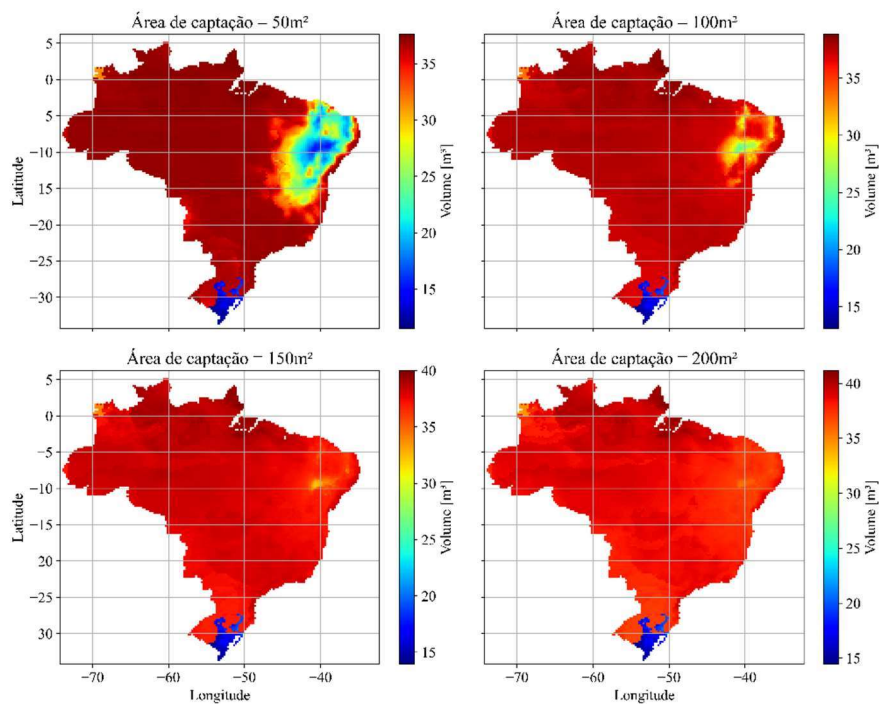
Volumes aproveitáveis médios anuais - método prático Inglês - D-500l./dia



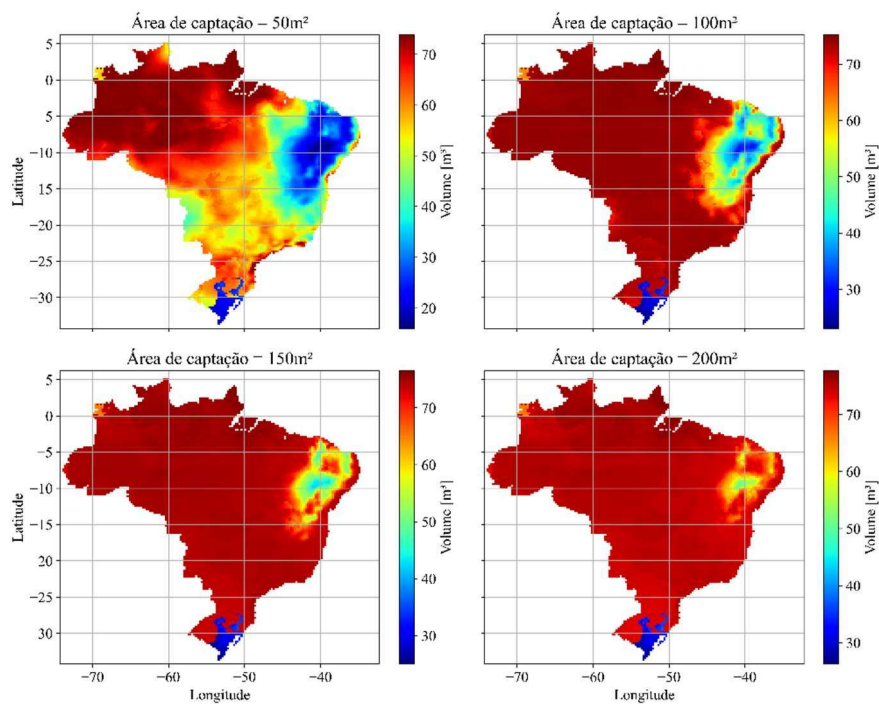
Volumes aproveitáveis médios anuais - método prático Inglês - D-600l./dia



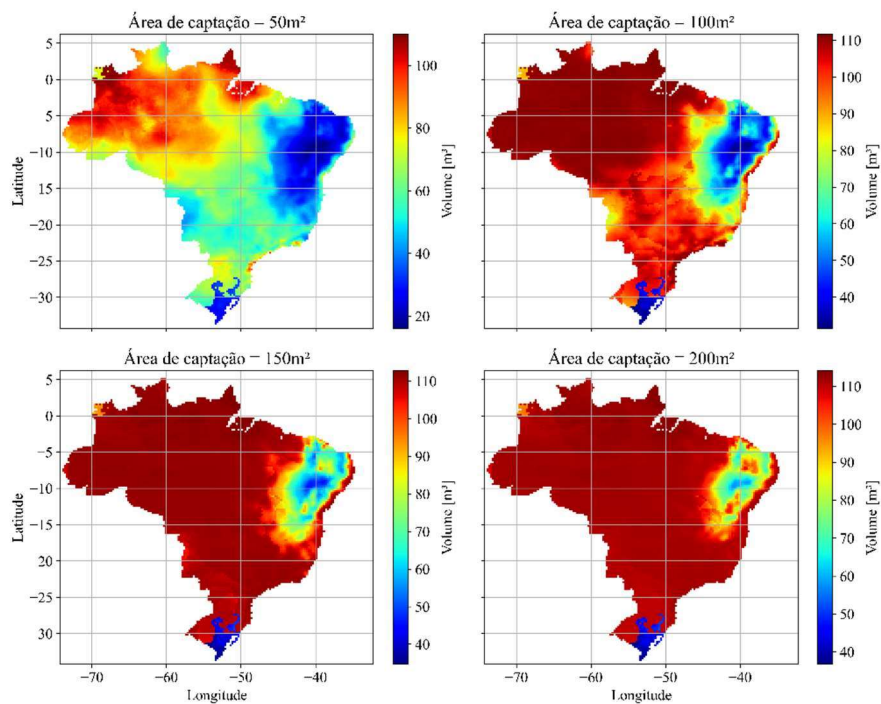
Volumes aproveitáveis médios anuais - método Azevedo Neto (Mês seco var) - D=100L/dia



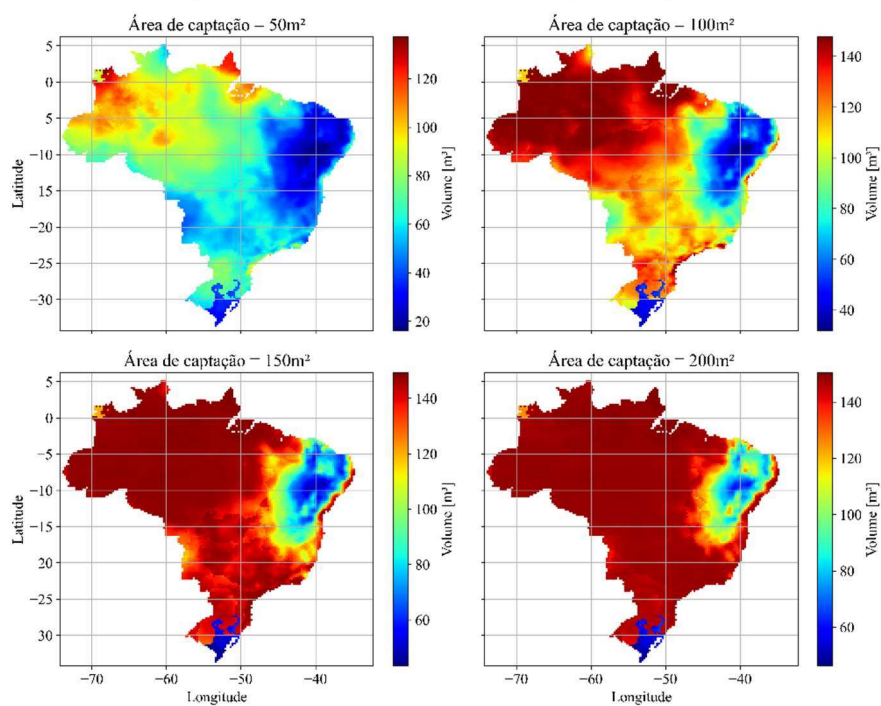
Volumes aproveitáveis médios anuais - método Azevedo Neto (Mês seco var) - D=200L/dia



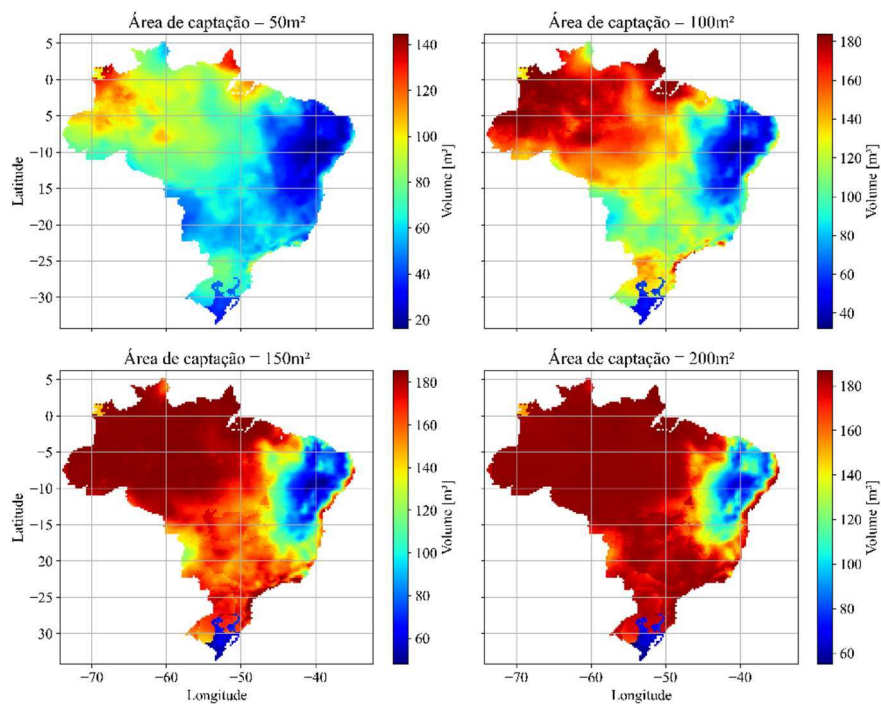
Volumes aproveitáveis médios anuais - método Azevedo Neto (Mês seco var) - D=300L/dia



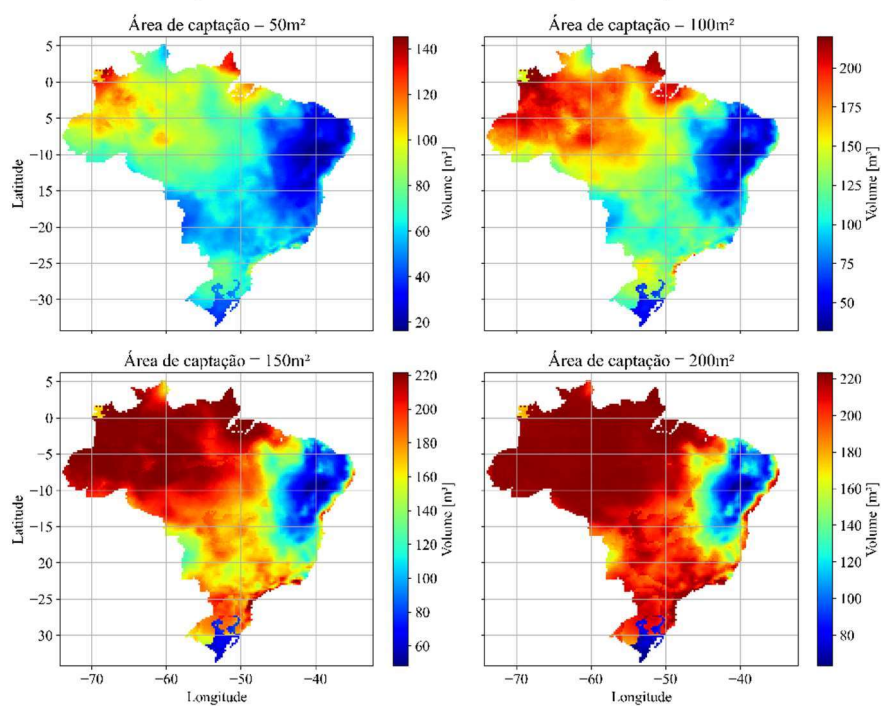
Volumes aproveitáveis médios anuais - método Azevedo Neto (Mês seco var) - D=400L/dia



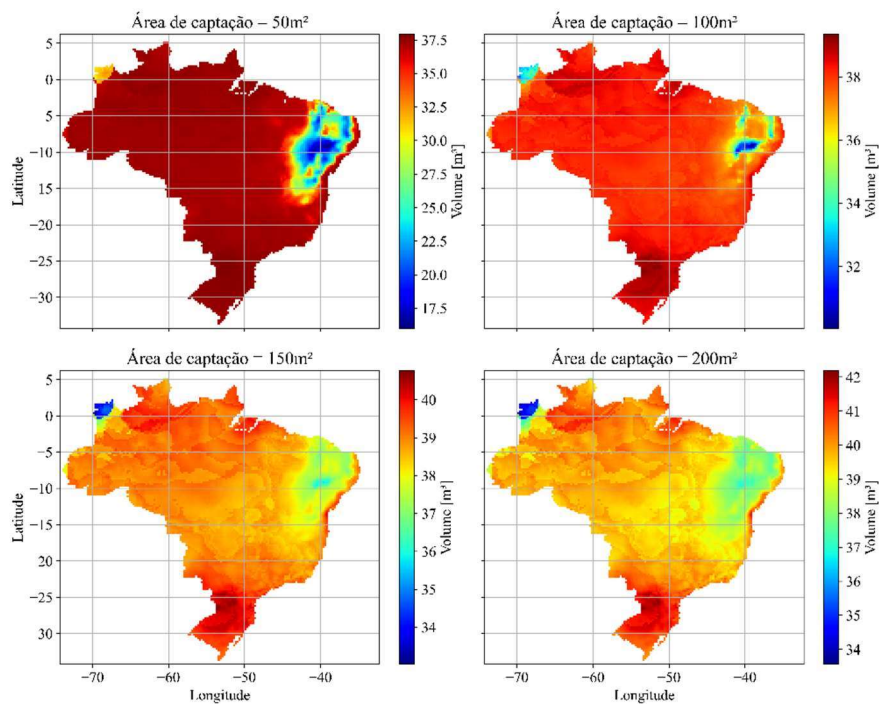
Volumes aproveitáveis médios anuais - método Azevedo Neto (Mês seco var) - D-500L/dia



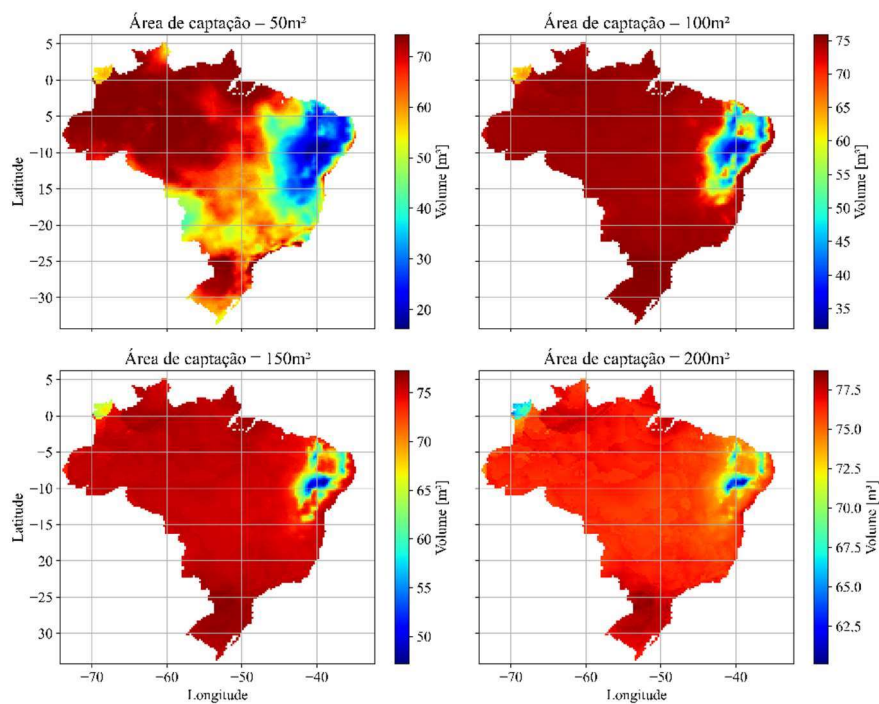
Volumes aproveitáveis médios anuais - método Azevedo Neto (Mês seco var) - D-600L/dia



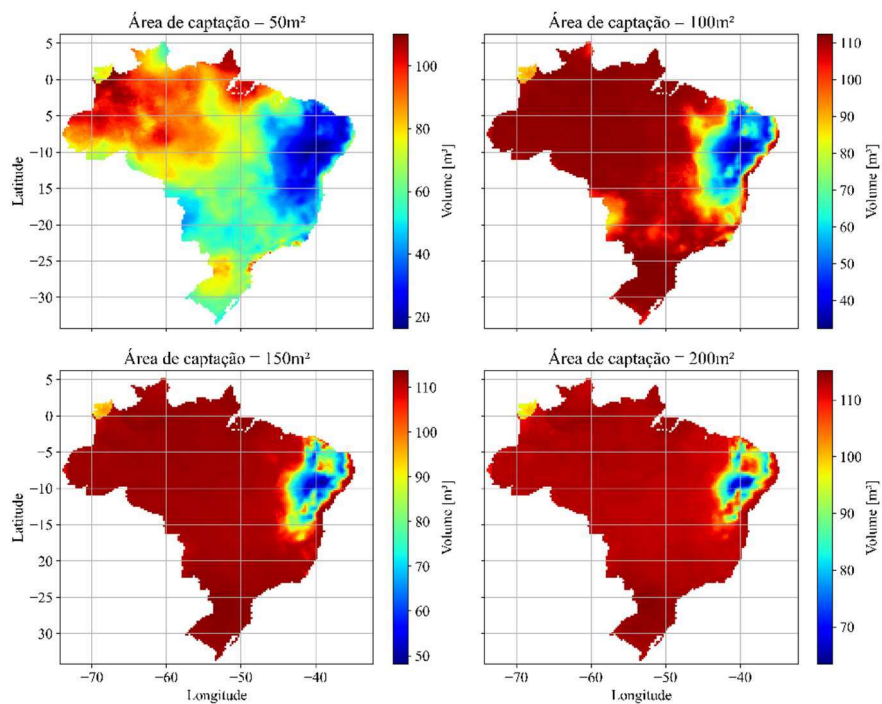
Volumes aproveitáveis médios anuais - método Azevedo Neto (Mês seco < 210mm) - D=100L/dia



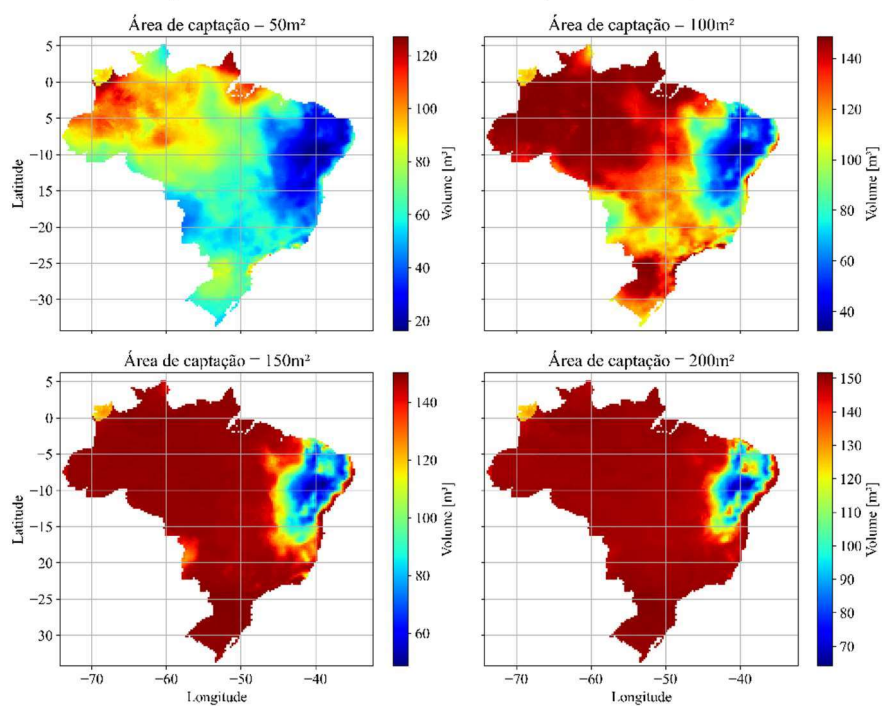
Volumes aproveitáveis médios anuais - método Azevedo Neto (Mês seco < 210mm) - D=200L/dia



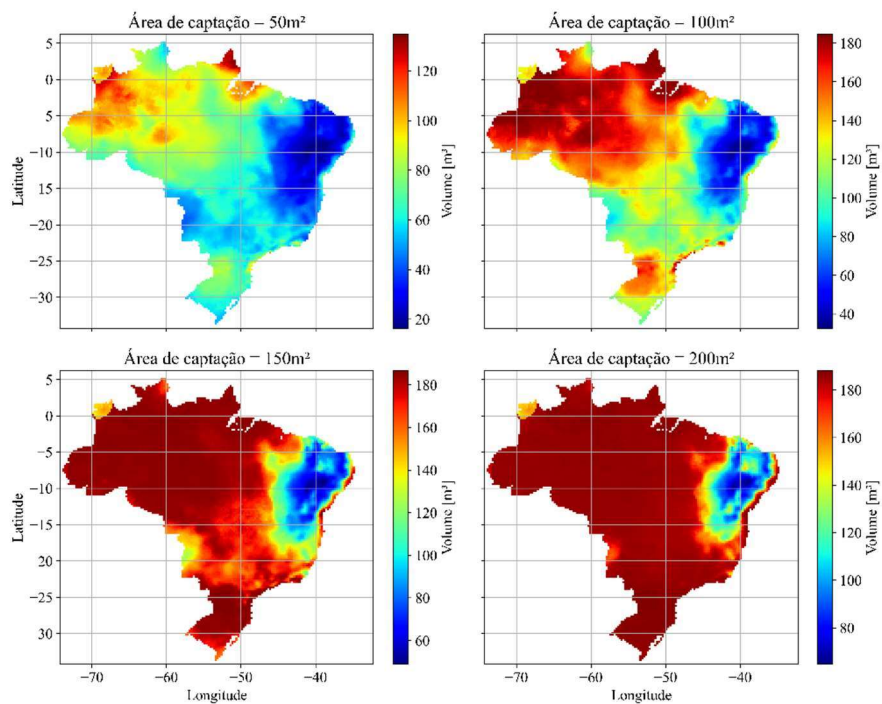
Volumes aproveitáveis médios anuais - método Azevedo Neto (Mês seco < 210mm) - D=300L/dia



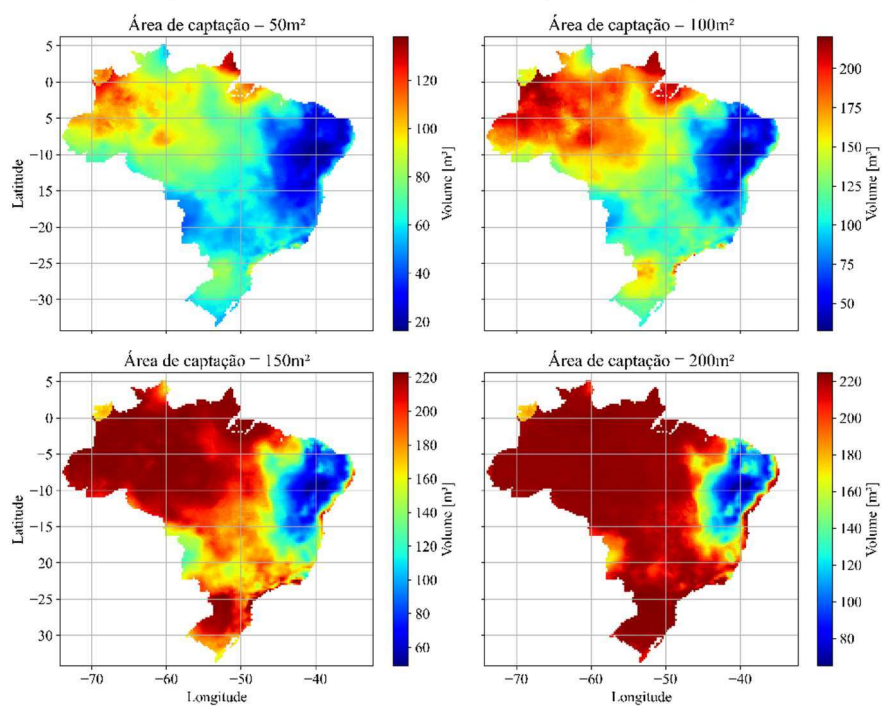
Volumes aproveitáveis médios anuais - método Azevedo Neto (Mês seco < 210mm) - D=400L/dia



Volumes aproveitáveis médios anuais - método Azevedo Neto (Mês seco < 210mm) - D=500L/dia

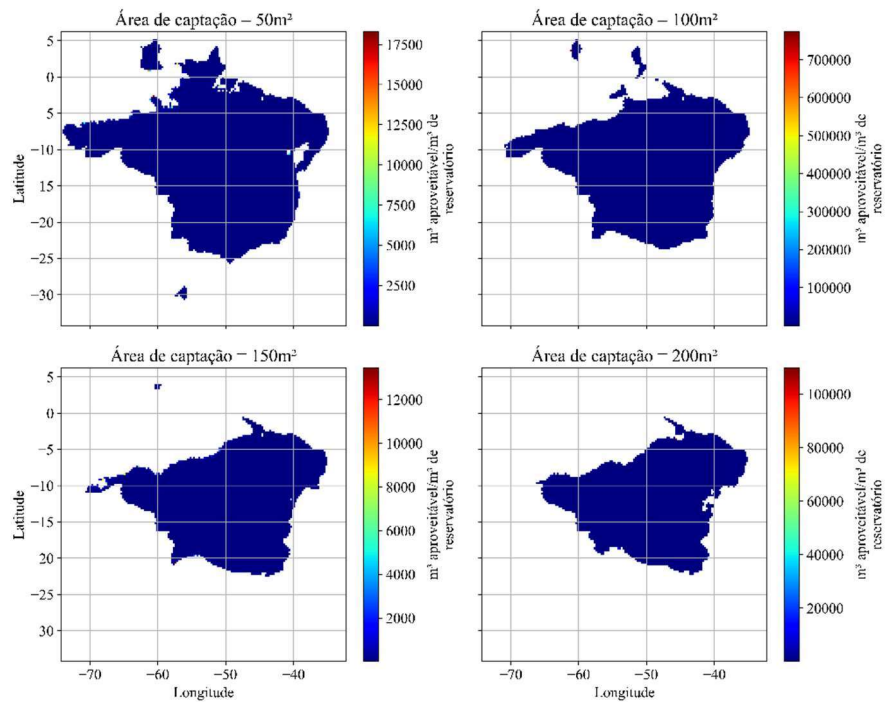


Volumes aproveitáveis médios anuais - método Azevedo Neto (Mês seco < 210mm) - D=600L/dia

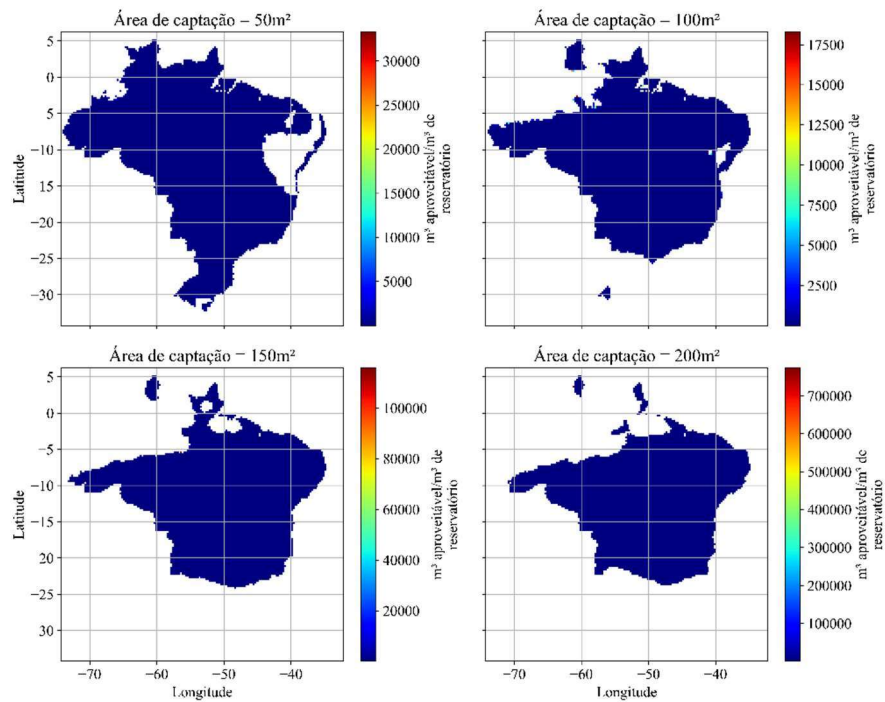


Coeficientes de Eficiência Volumétrica

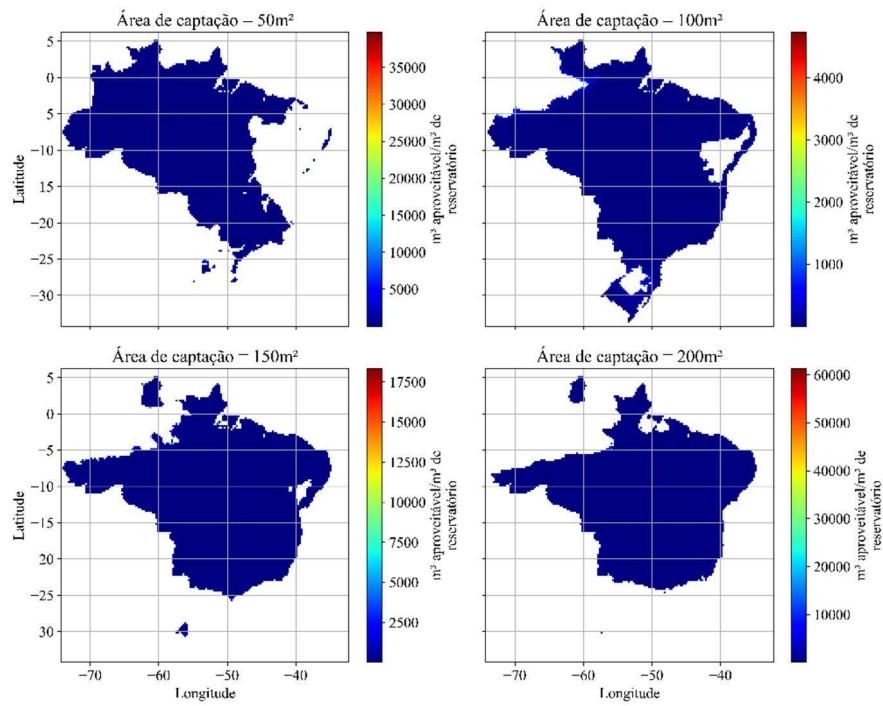
CEV - Rippl base de dados mensal (D=100L/dia)



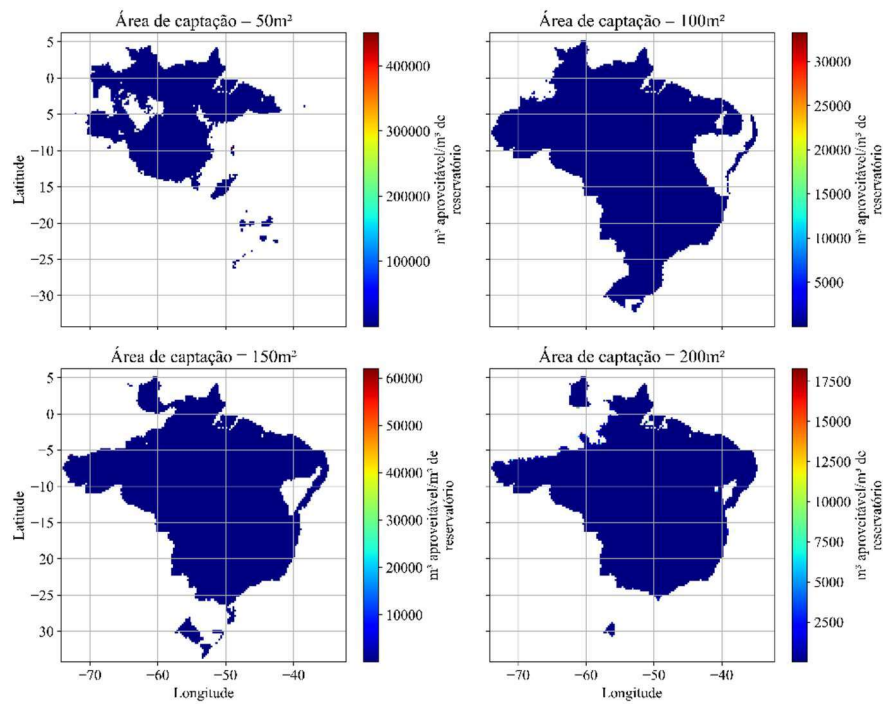
CEV - Rippl base de dados mensal (D=200L/dia)



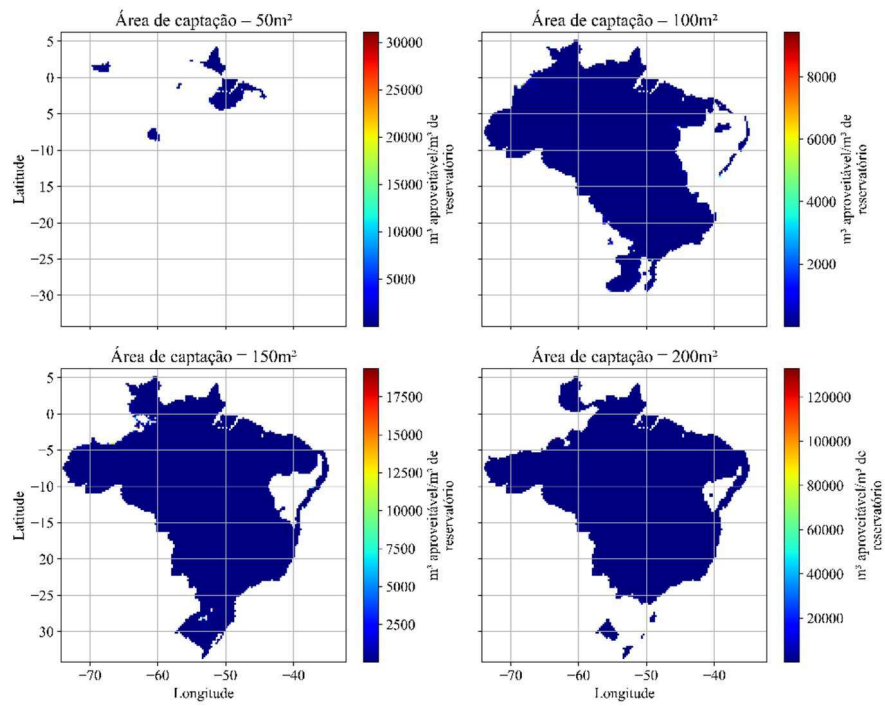
CEV - Rippl base de dados mensal (D=300L/dia)



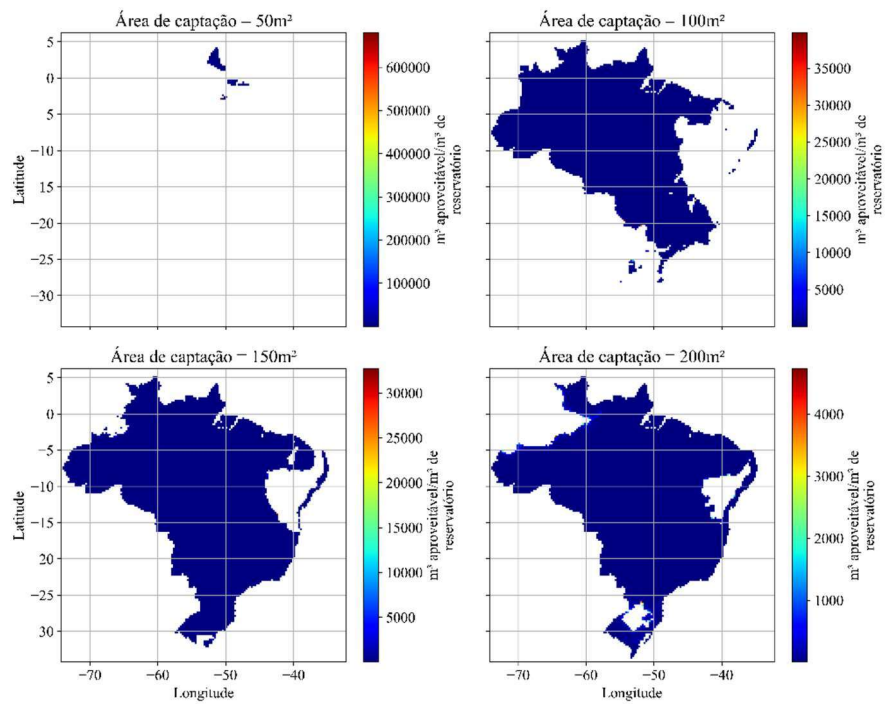
CEV - Rippl base de dados mensal (D=400L/dia)



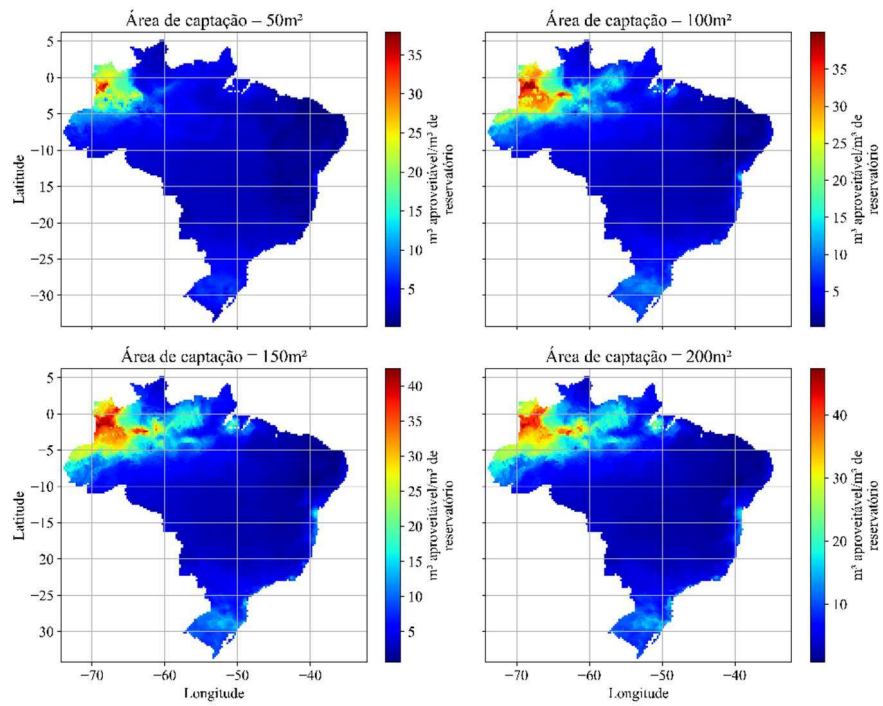
CEV - Rippl base de dados mensal (D=500L/dia)



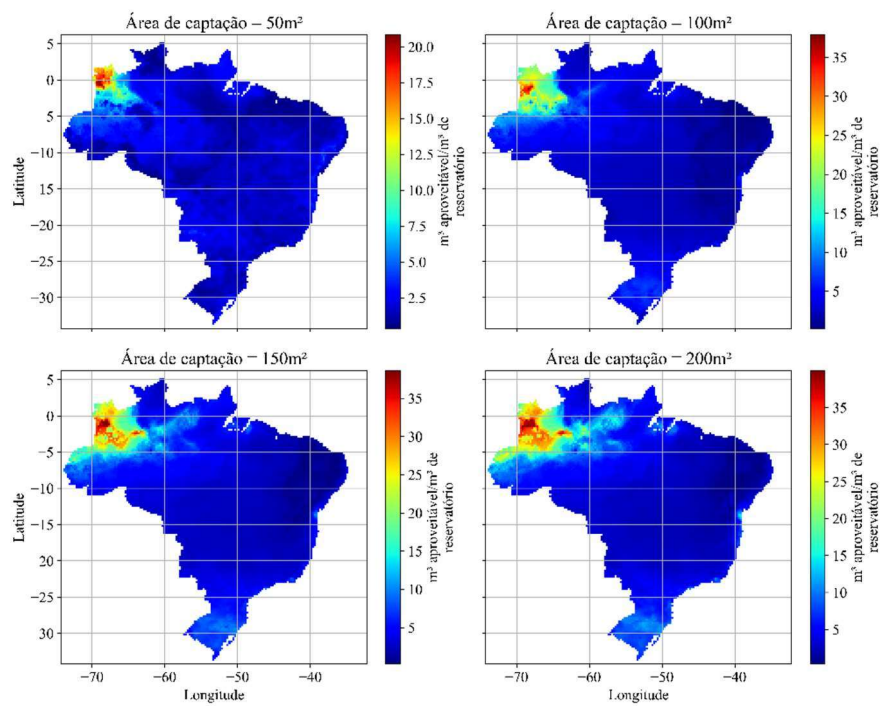
CEV - Rippl base de dados mensal (D=600L/dia)



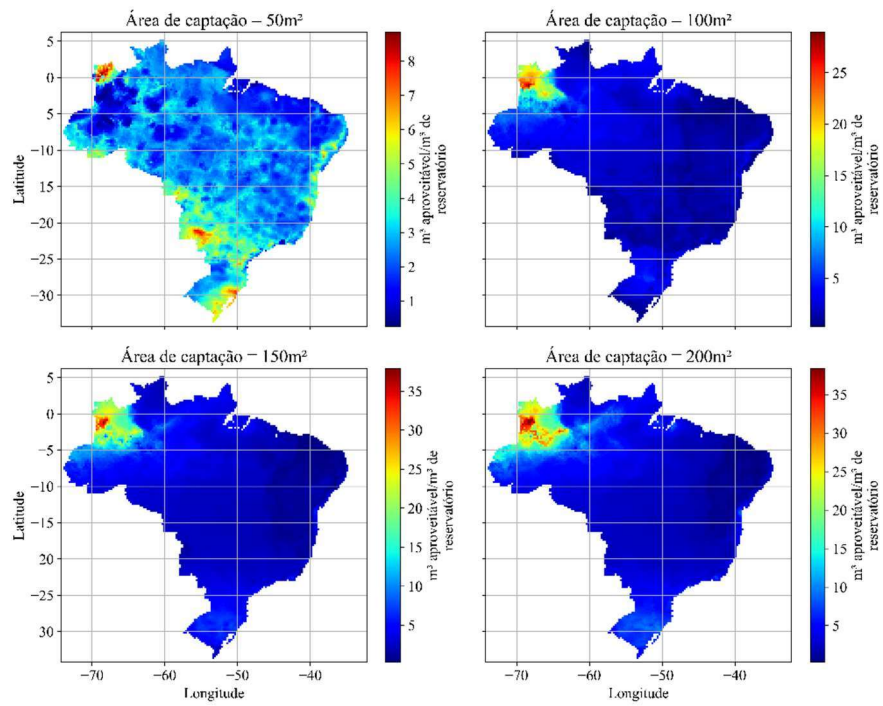
CEV - Rippl base de dados diária (D=100L/dia)



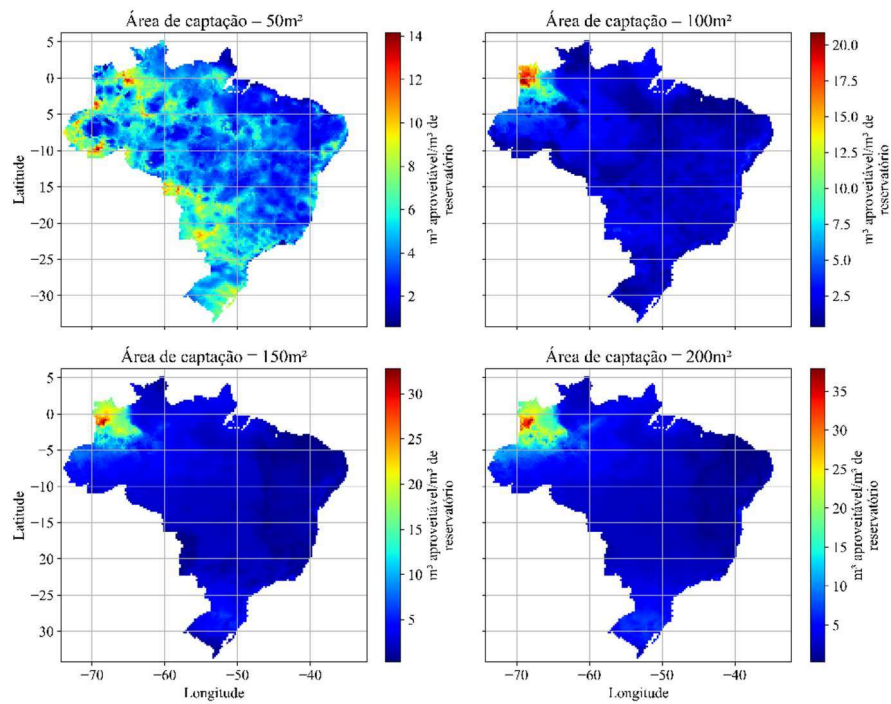
CEV - Rippl base de dados diária (D=200L/dia)



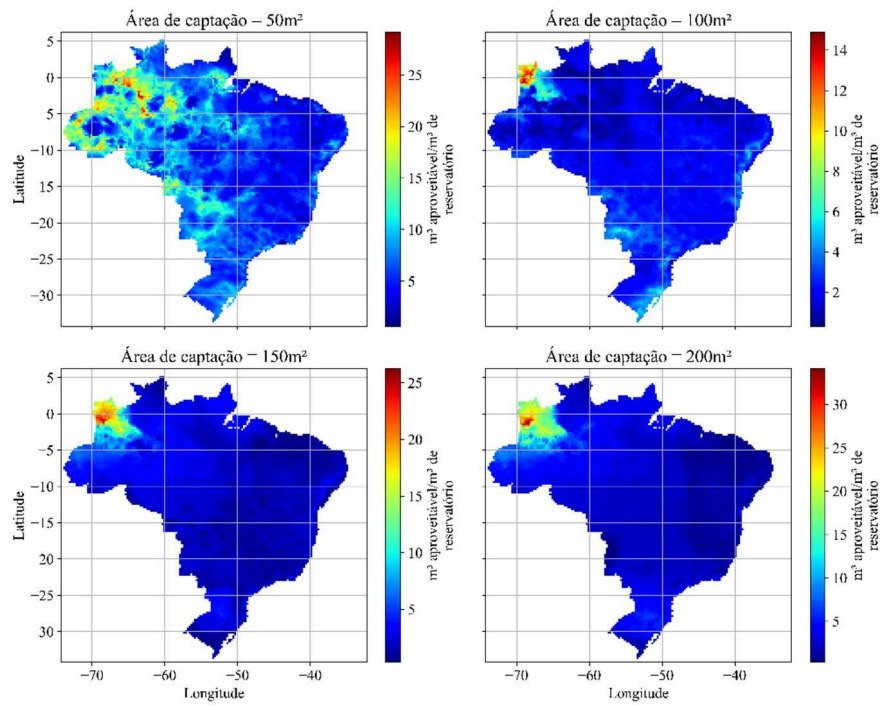
CEV - Rippl base de dados diária (D=300L/dia)



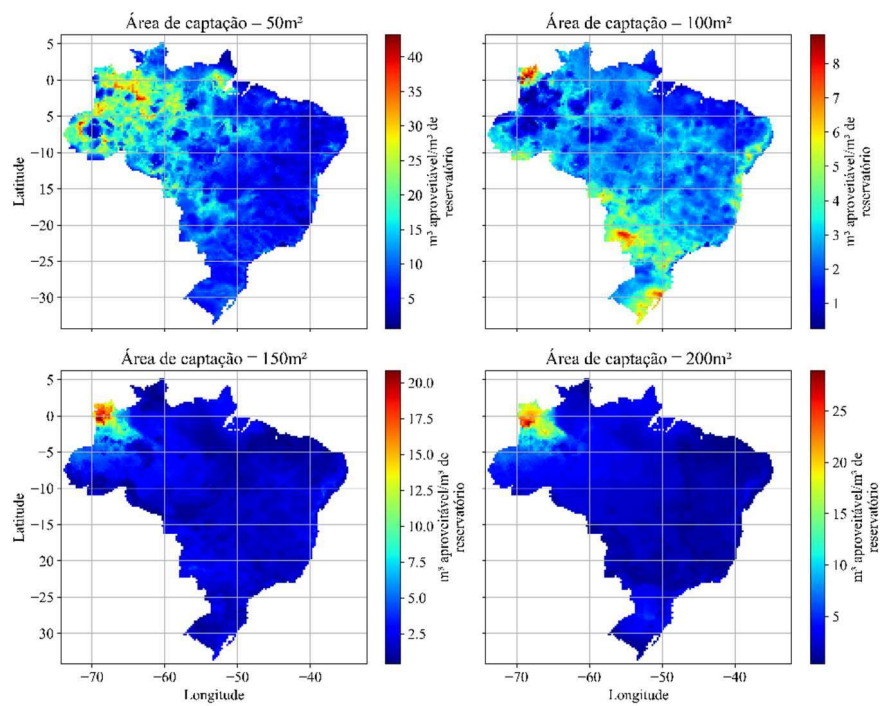
CEV - Rippl base de dados diária (D=400L/dia)



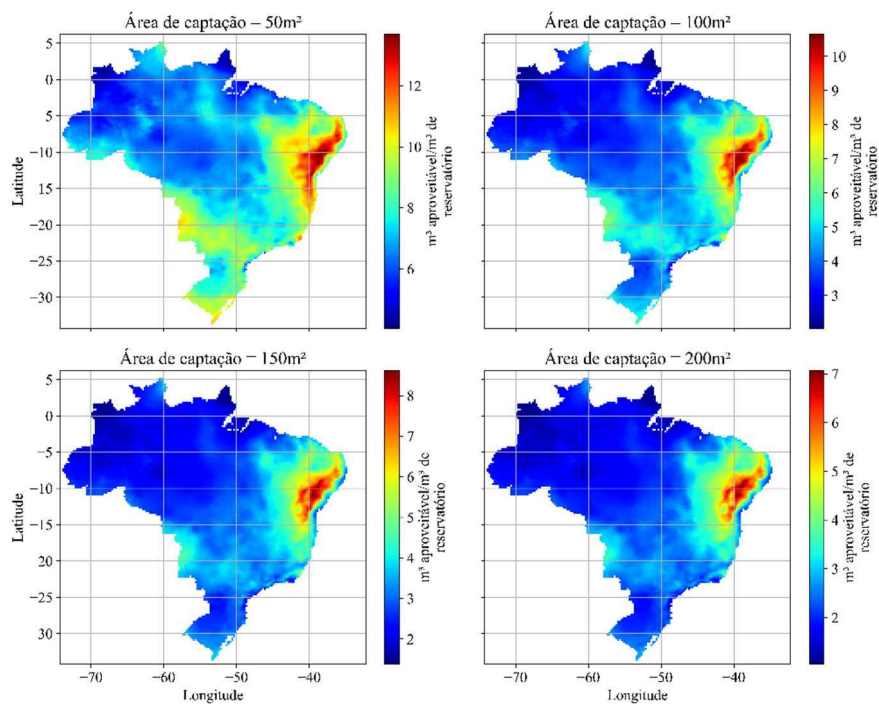
CEV - Rippl base de dados diária (D-500L/dia)



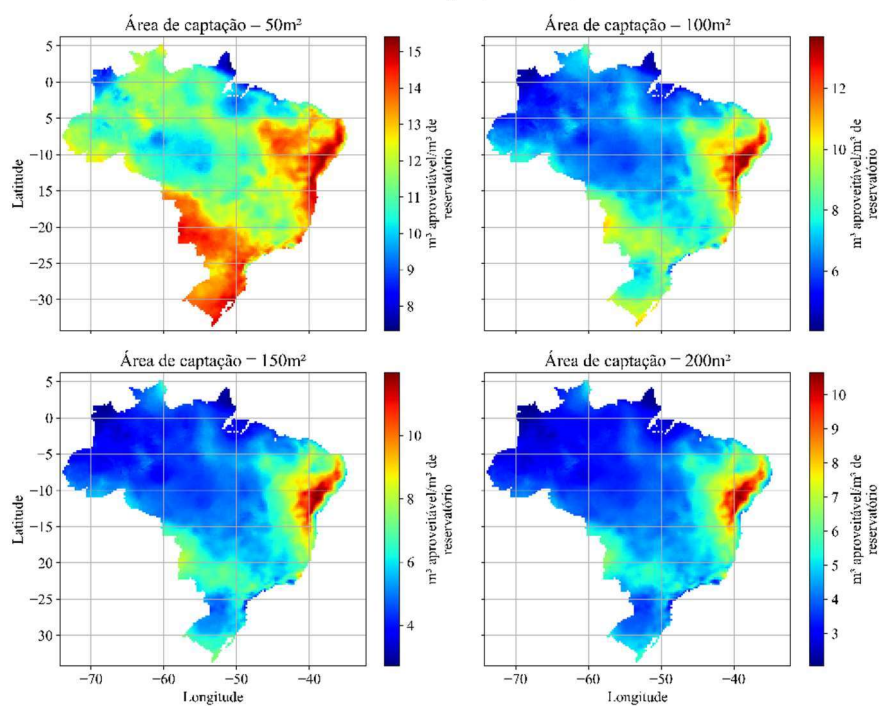
CEV - Rippl base de dados diária (D-600L/dia)



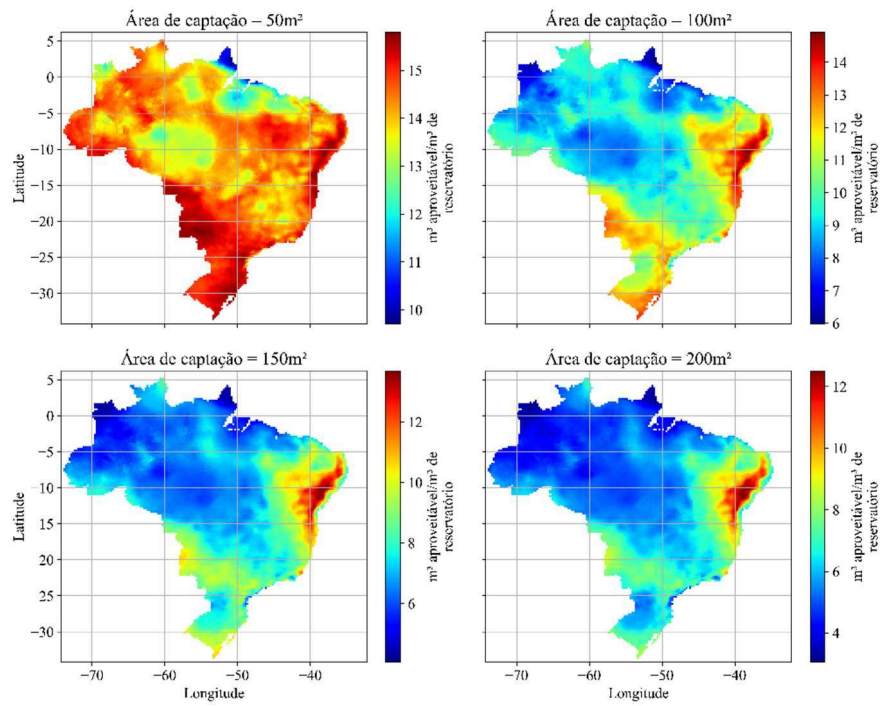
CFV - Metodo Inglês (D=100L/dia)



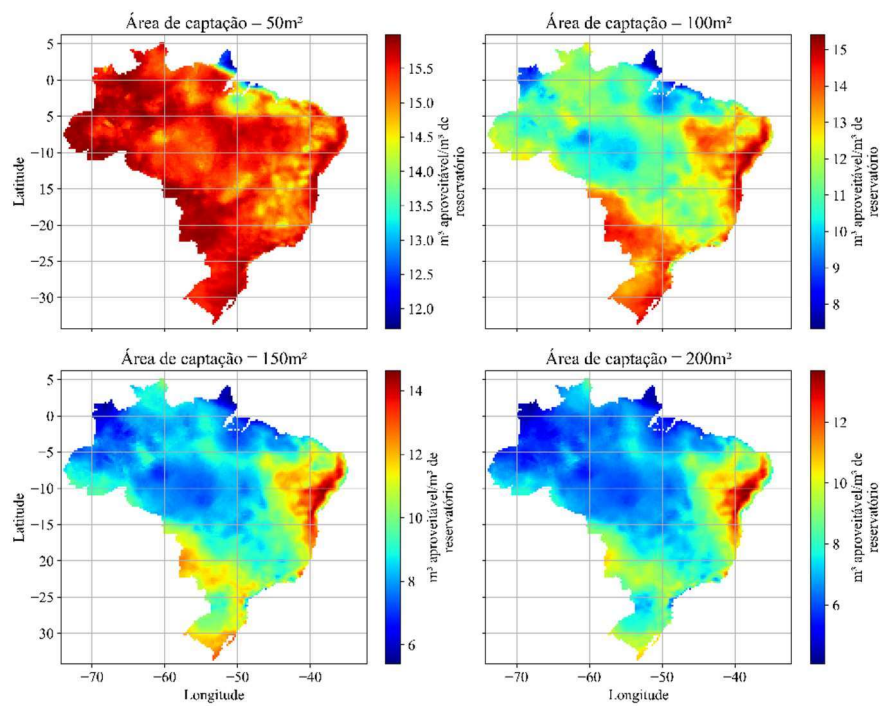
CFV - Metodo Inglês (D=200L/dia)



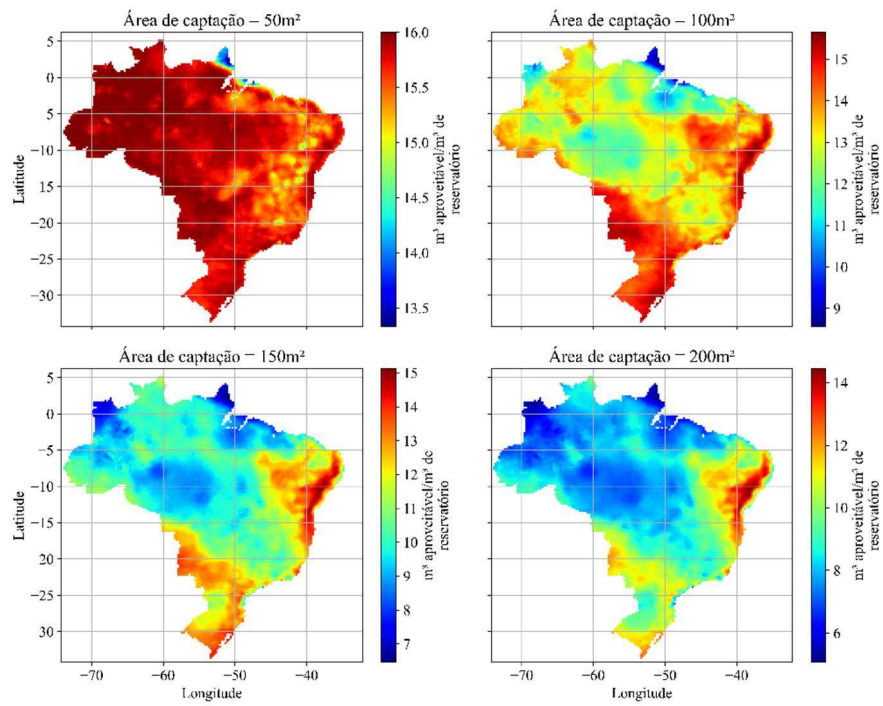
CFV - Metodo Inglês (D=300L/dia)



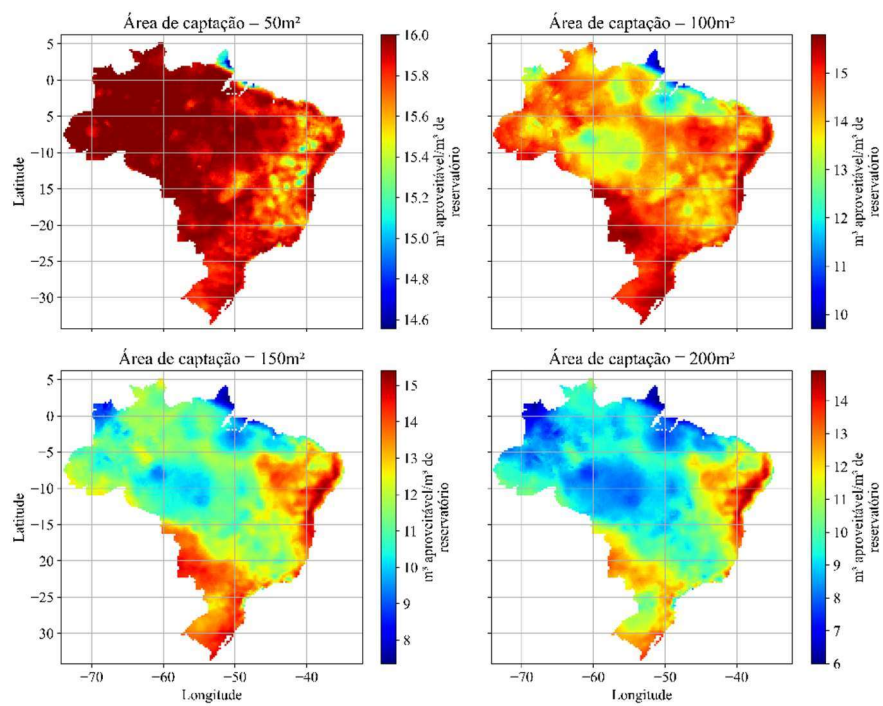
CFV - Metodo Inglês (D=400L/dia)



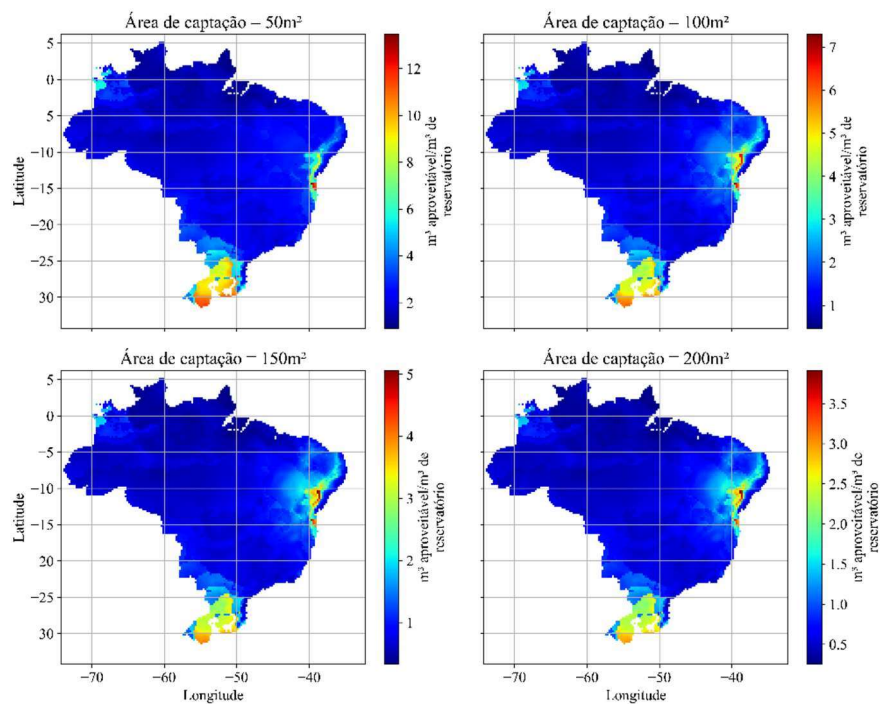
CEV - Metodo Inglês (D=500L/dia)



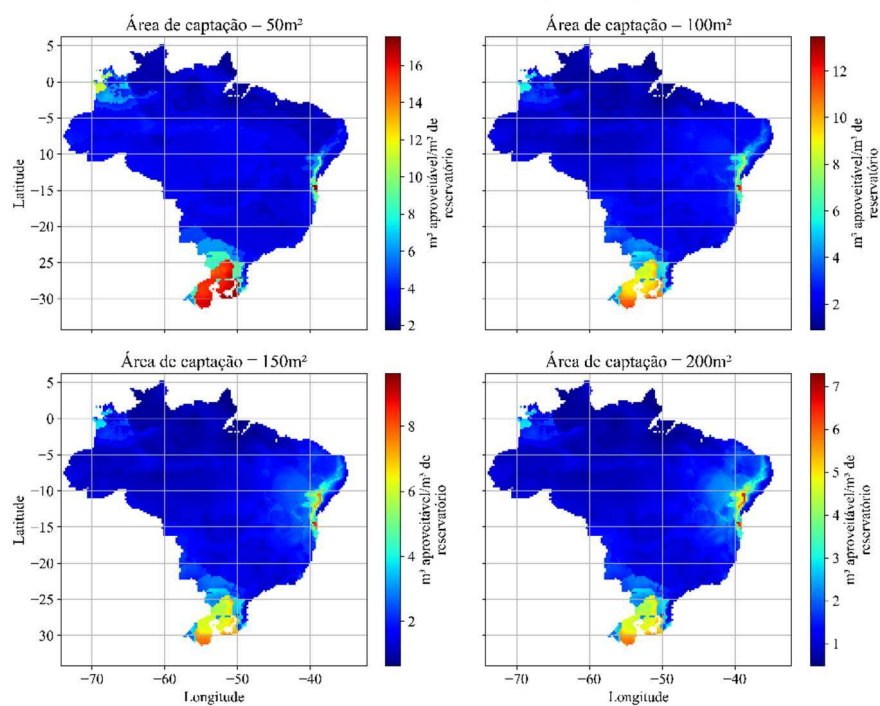
CEV - Metodo Inglês (D=600L/dia)



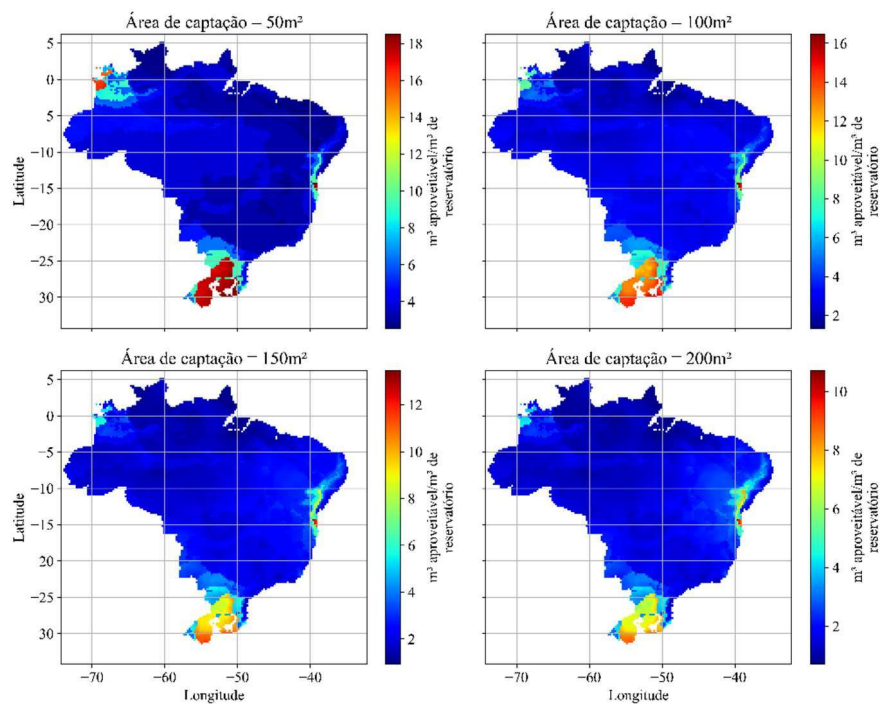
CFV - Metodo Azevedo Neto variável (D=100L/dia)



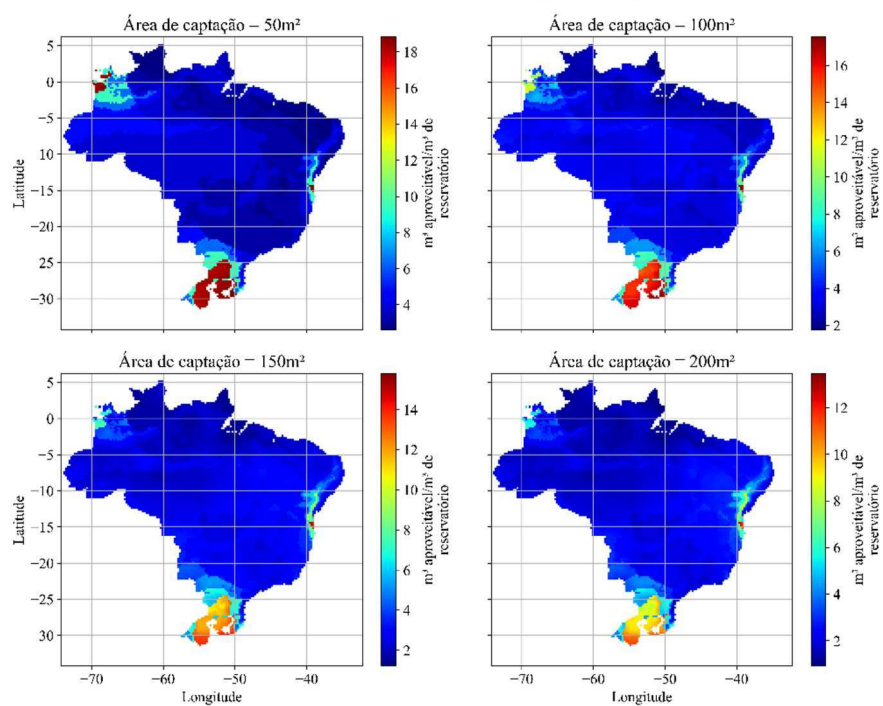
CFV - Metodo Azevedo Neto variável (D=200L/dia)



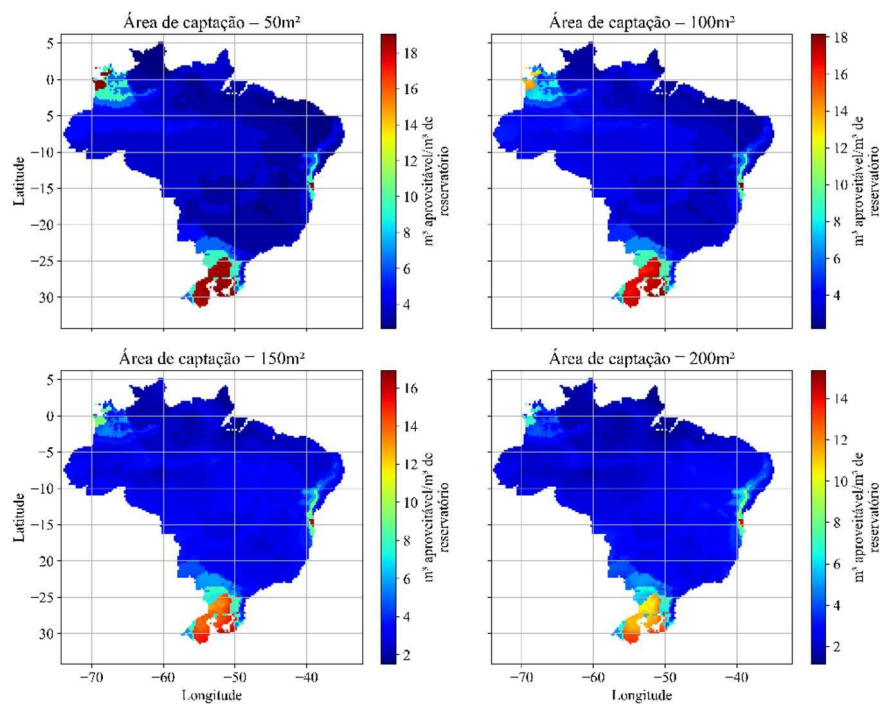
CFV - Metodo Azevedo Neto variável (D=300L/dia)



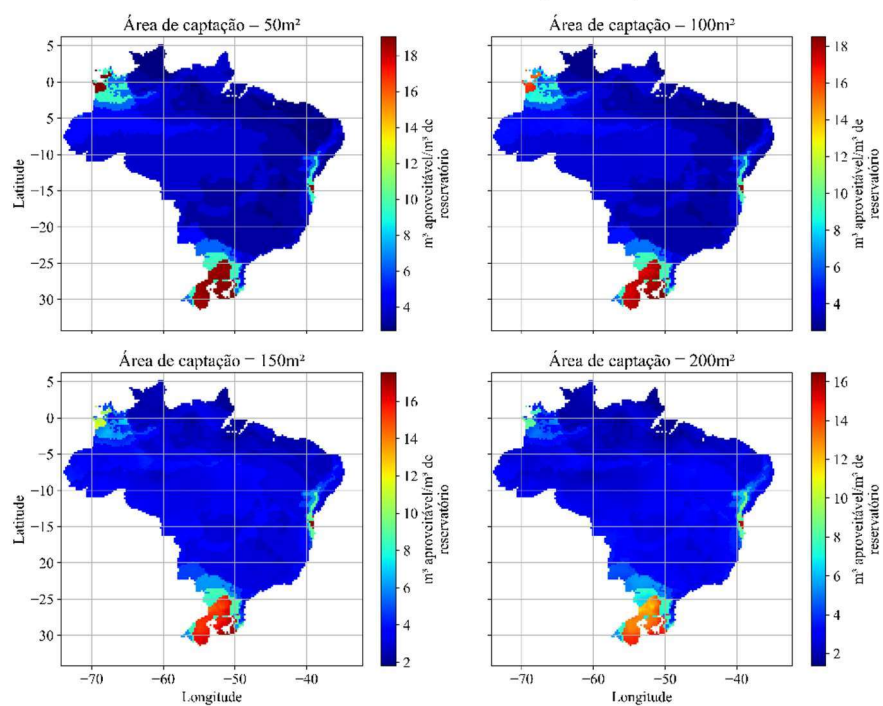
CFV - Metodo Azevedo Neto variável (D=400L/dia)



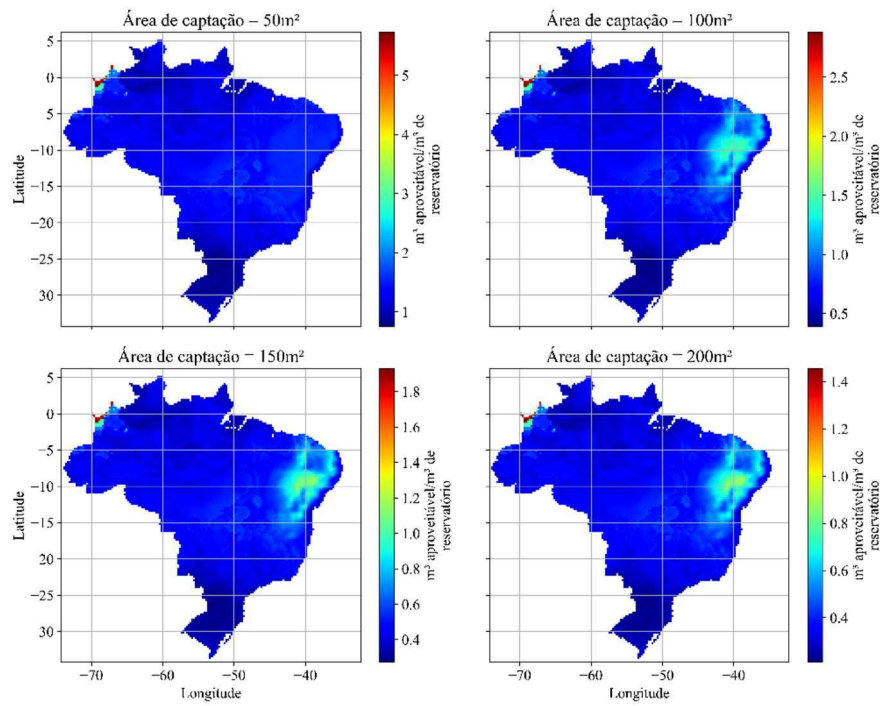
CFV - Metodo Azevedo Neto variável (D=500L/dia)



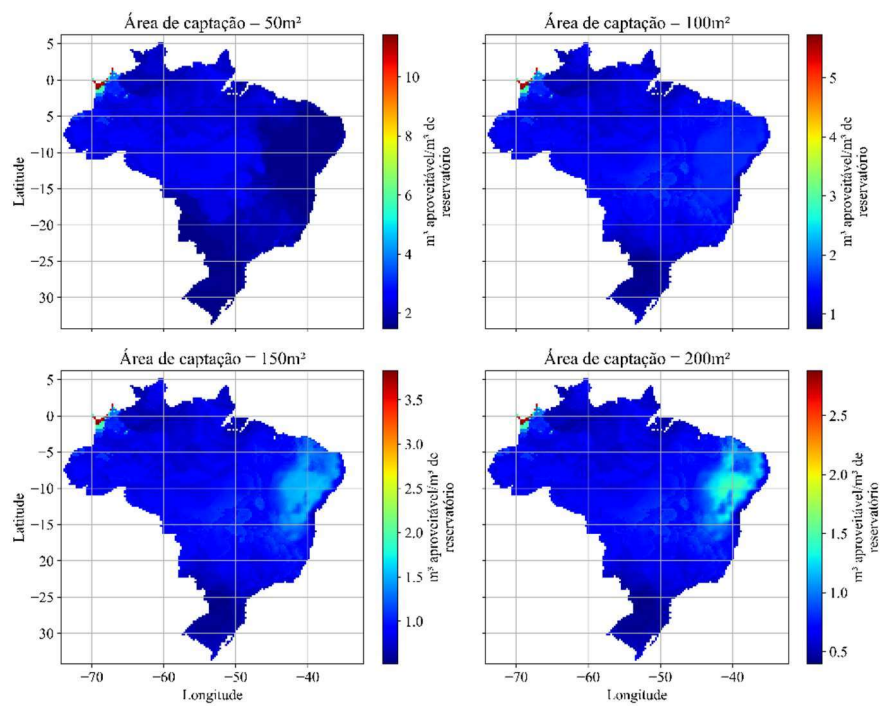
CFV - Metodo Azevedo Neto variável (D=600L/dia)



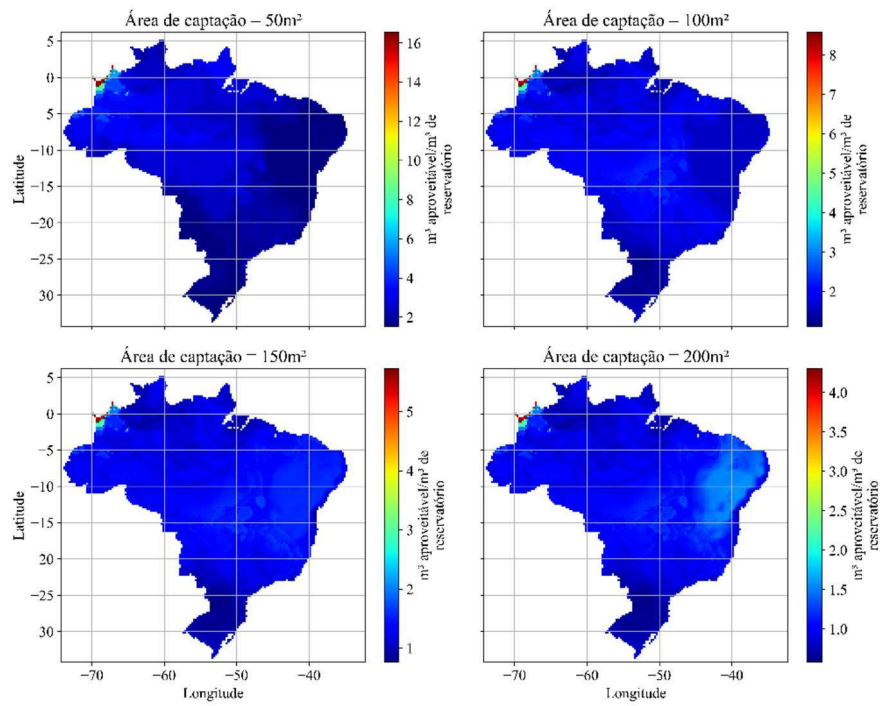
CFV - Metodo Azevedo Neto 210mm (D=100L/dia)



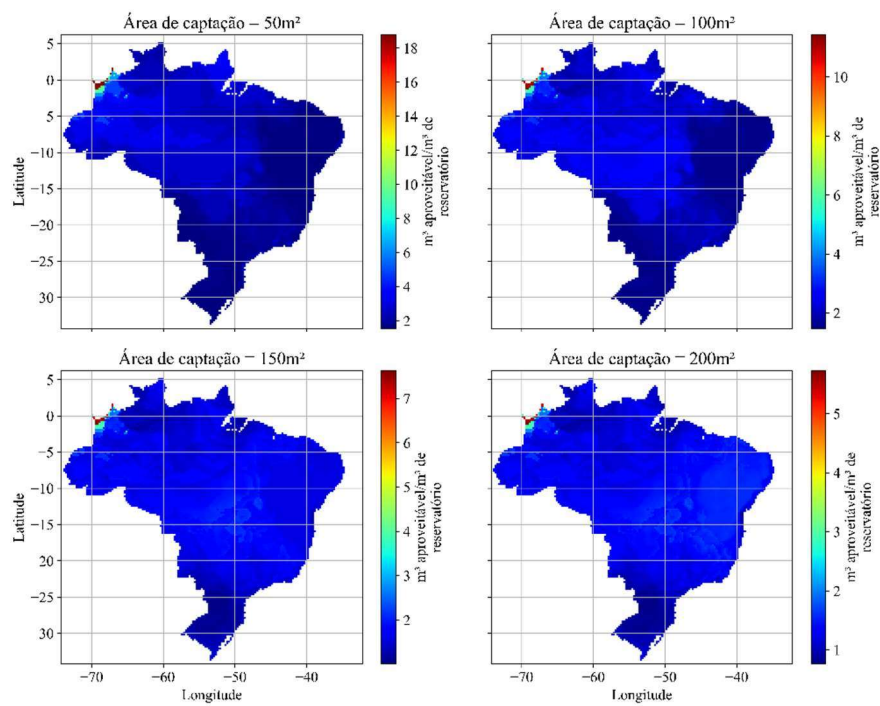
CFV - Metodo Azevedo Neto 210mm (D=200L/dia)



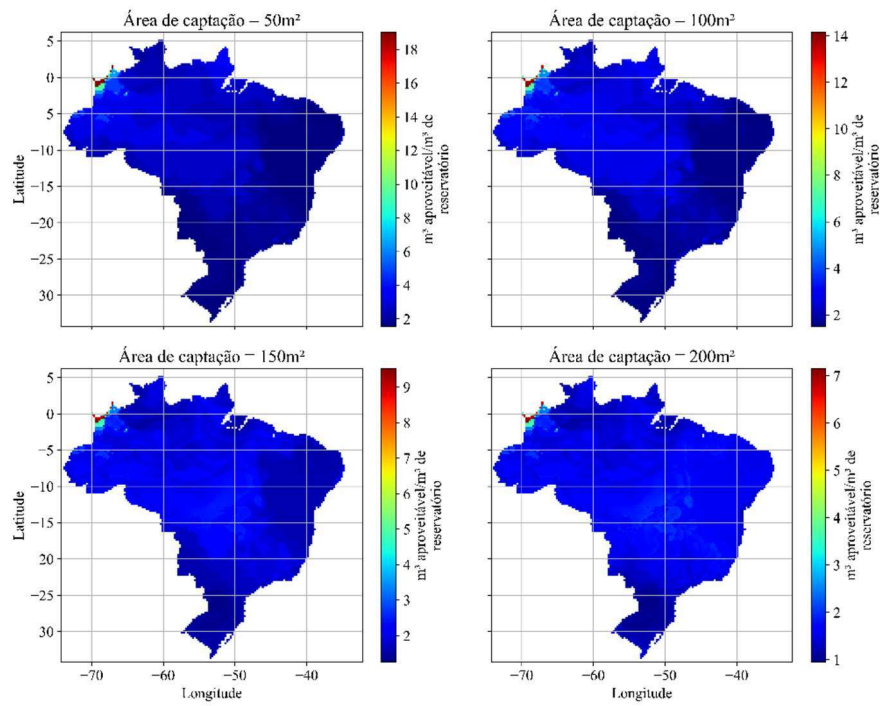
CFV - Metodo Azevedo Neto 210mm (D=300L/dia)



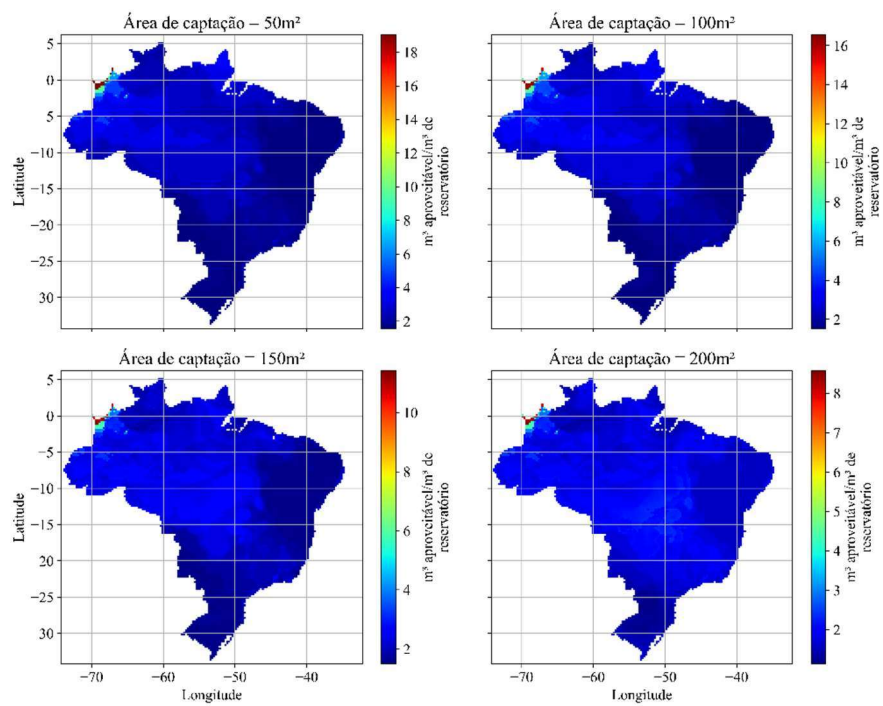
CFV - Metodo Azevedo Neto 210mm (D=400L/dia)



CFV - Metodo Azevedo Neto 210mm (D=500L/dia)

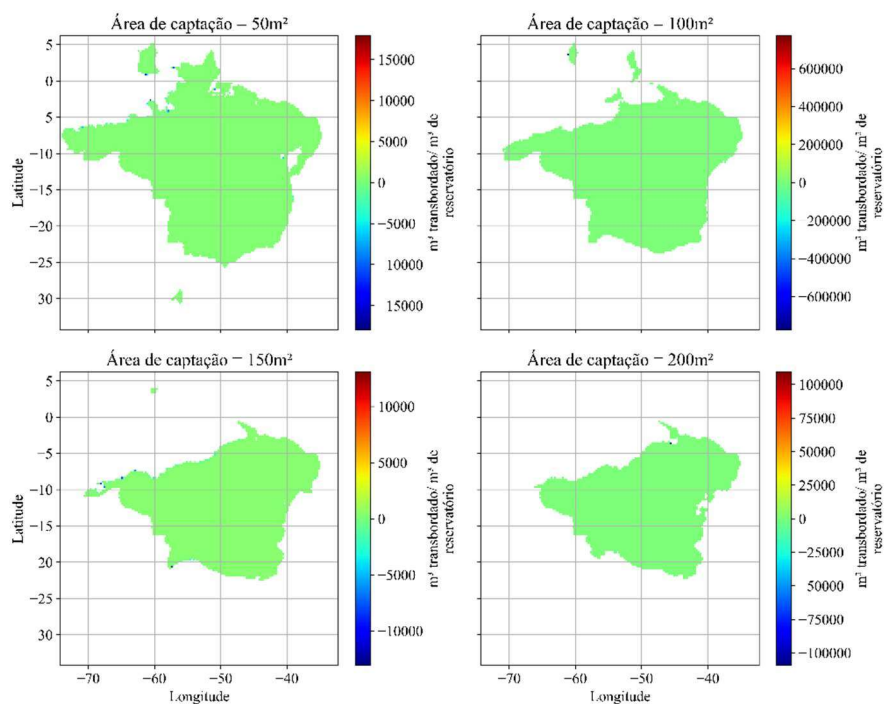


CFV - Metodo Azevedo Neto 210mm (D=600L/dia)

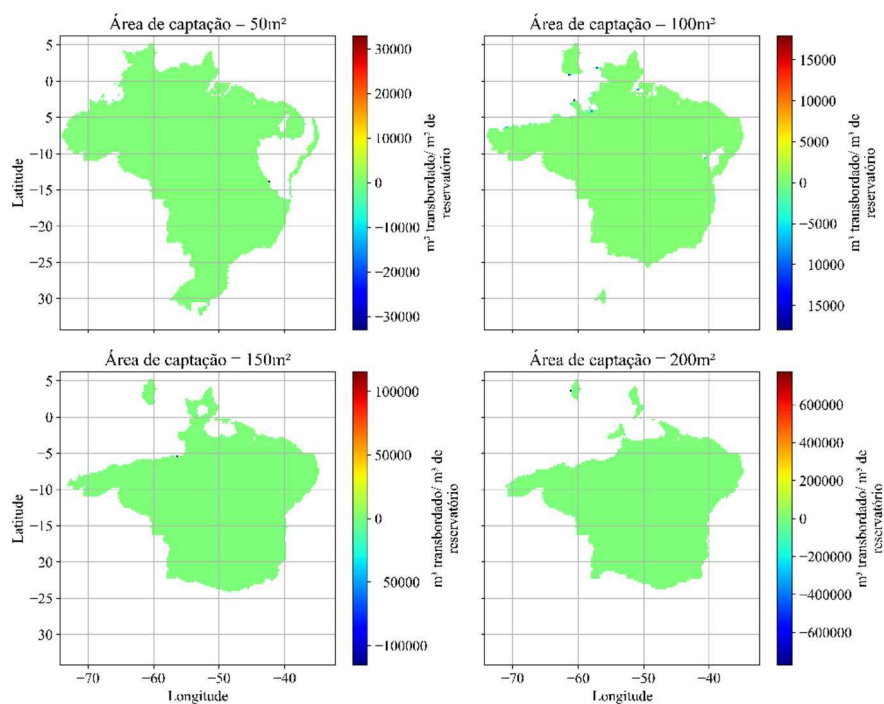


Coeficientes de Ociosidade Volumétrica

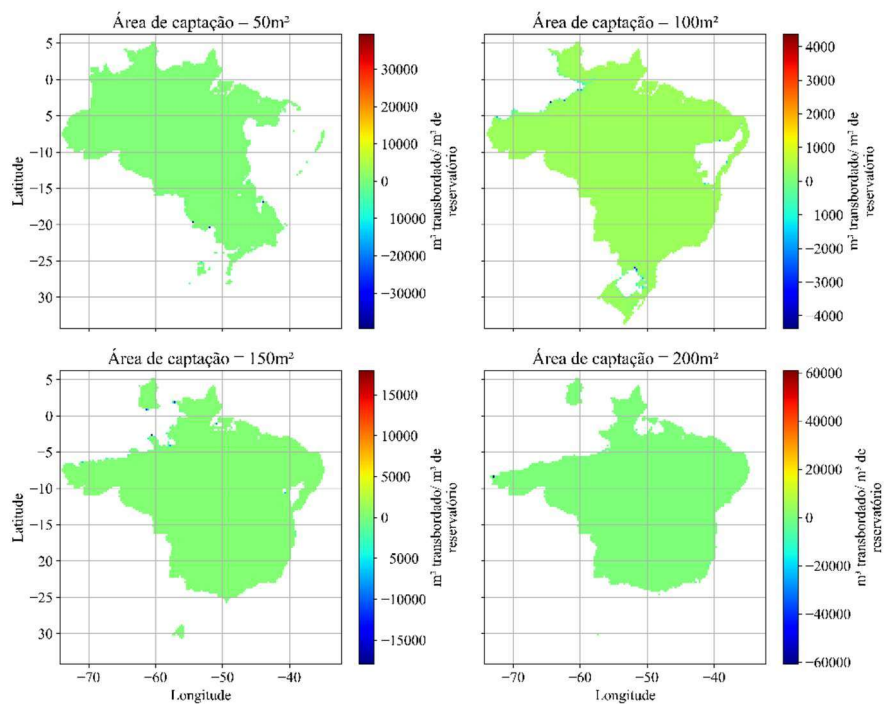
COV - Rippl Mensal - D=100L/d



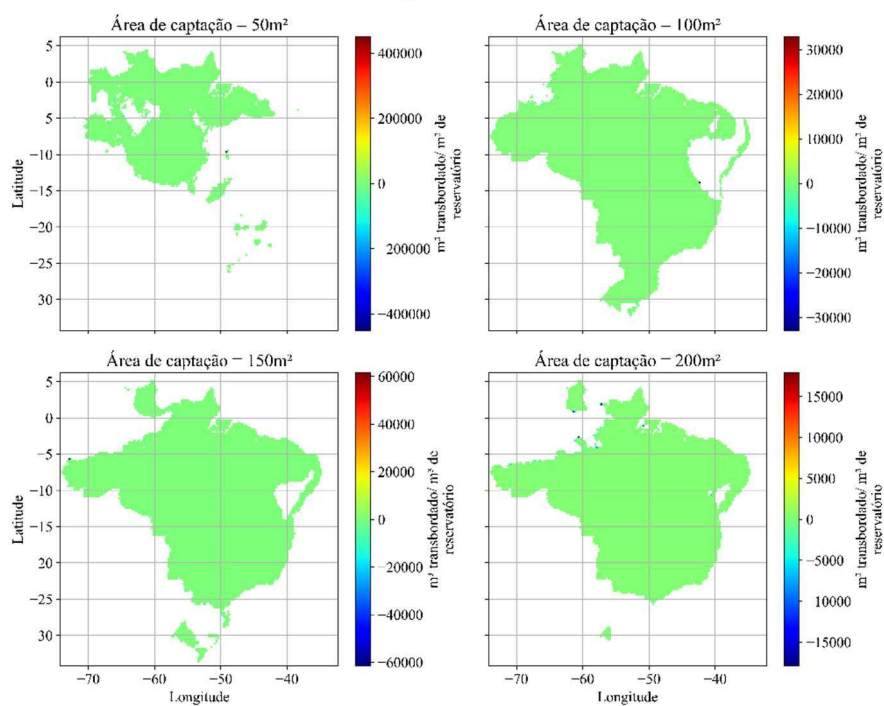
COV - Rippl Mensal - D=200L/d



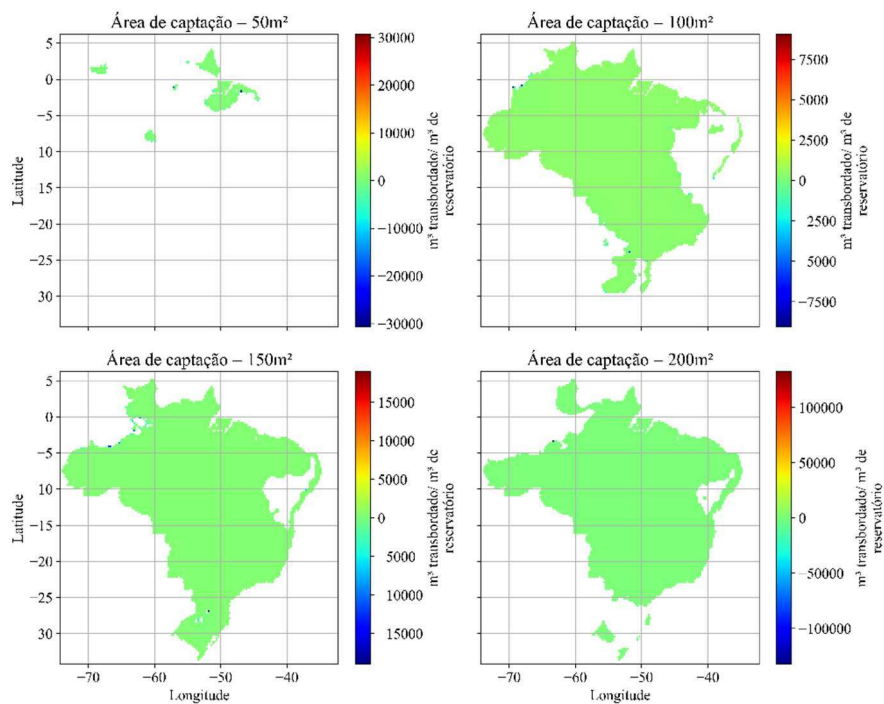
COV - Rippl Mensal - D-300L/d



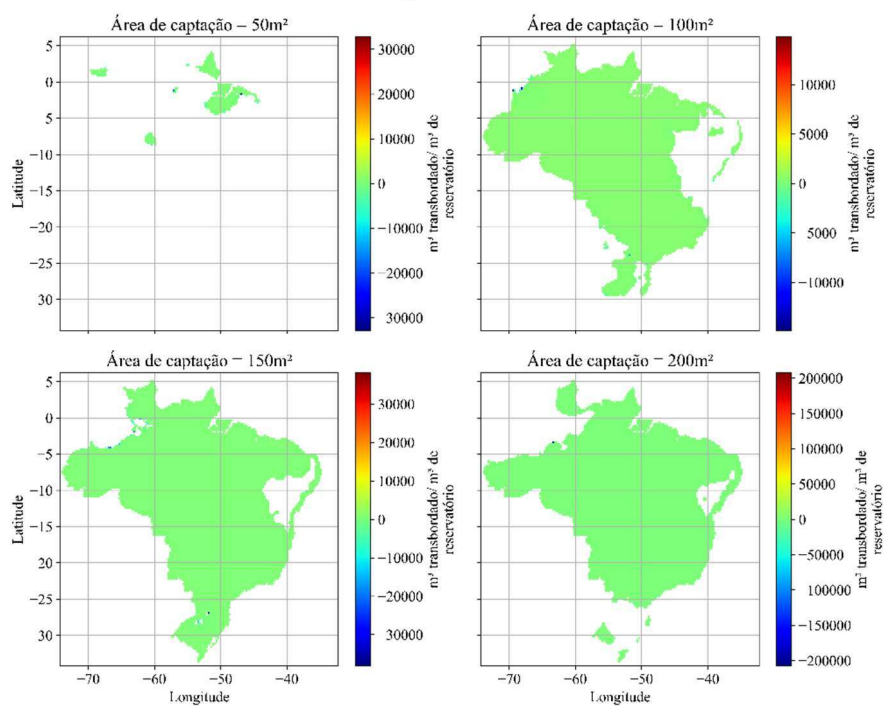
COV - Rippl Mensal - D-400L/d



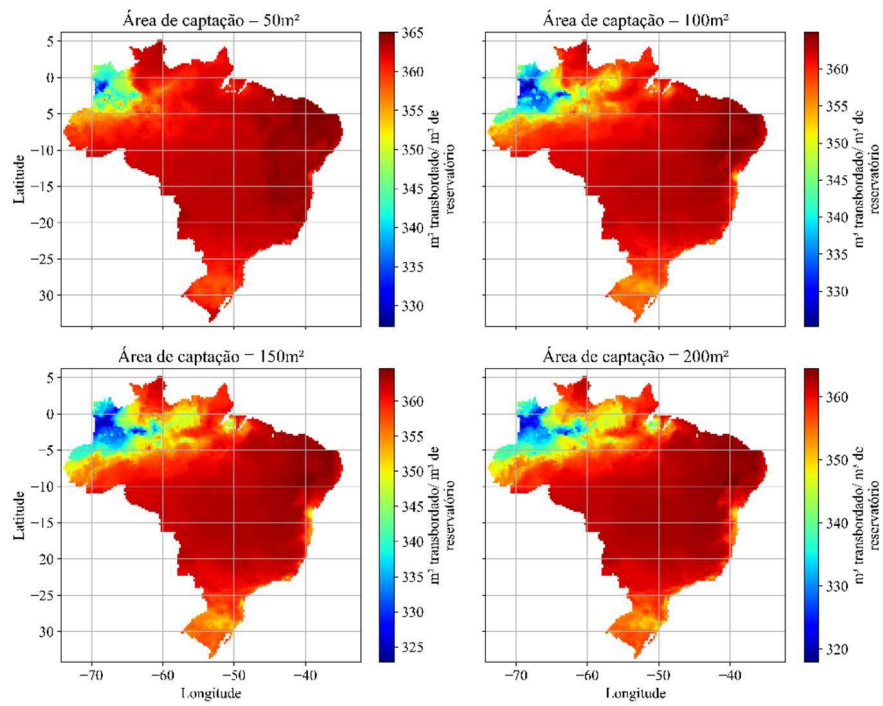
COV - Rippl Mensal - D-500L/d



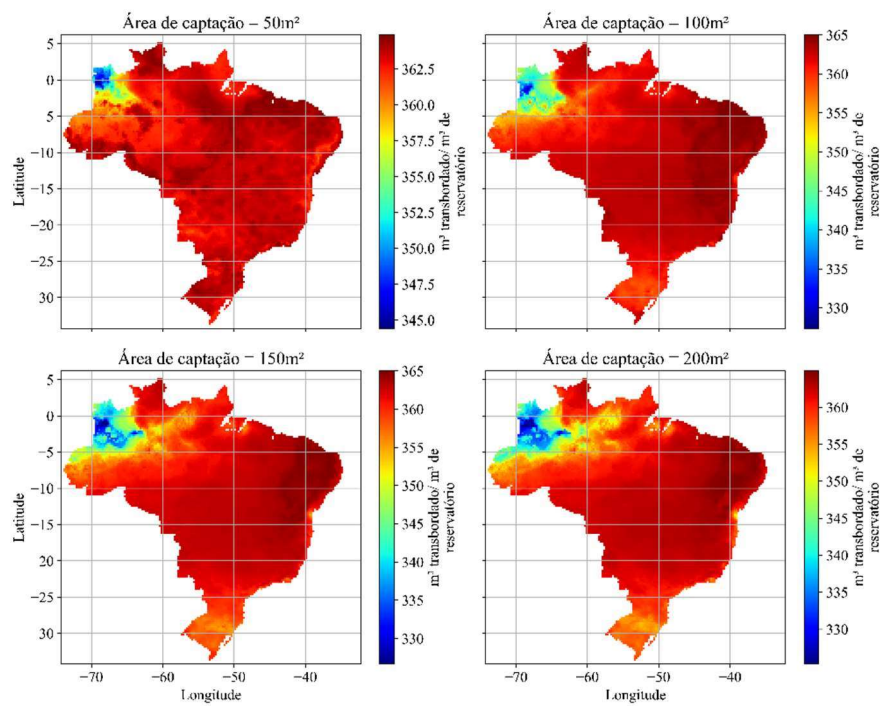
COV - Rippl Mensal - D-600L/d



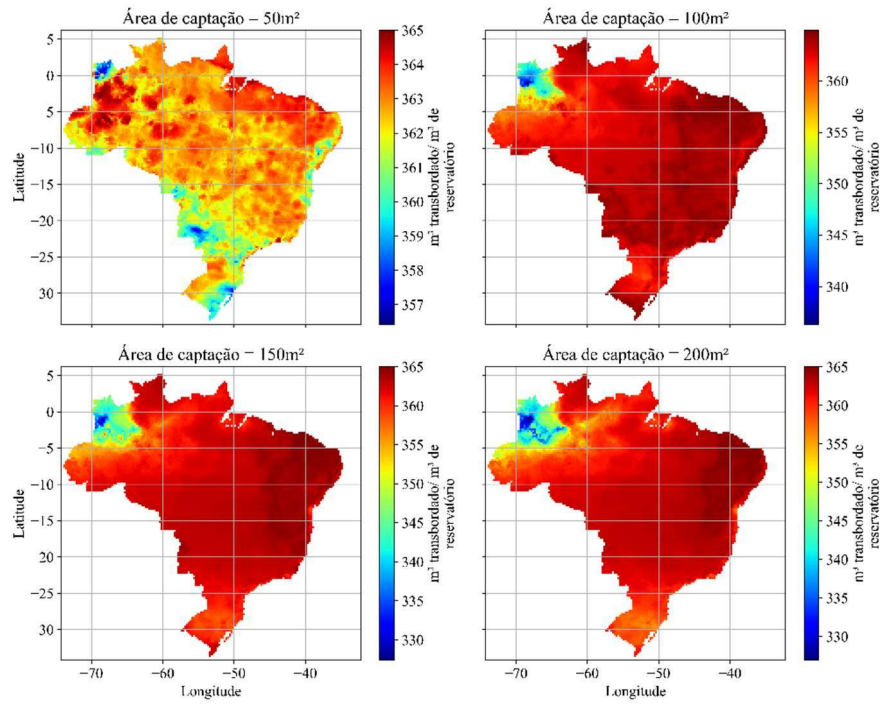
COV - Rippl Diário - D-100L/d



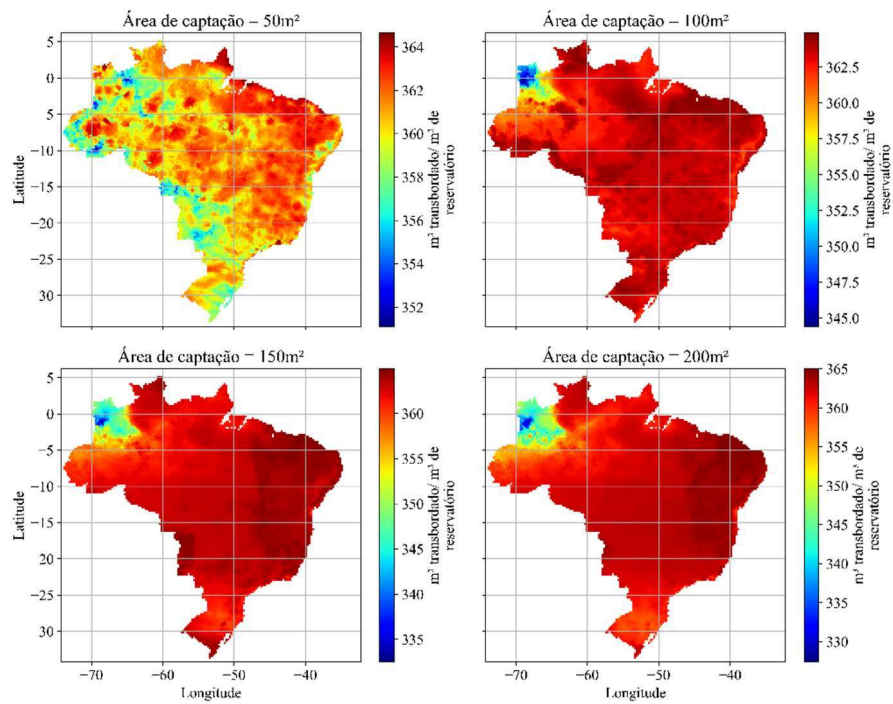
COV - Rippl Diário - D-200L/d



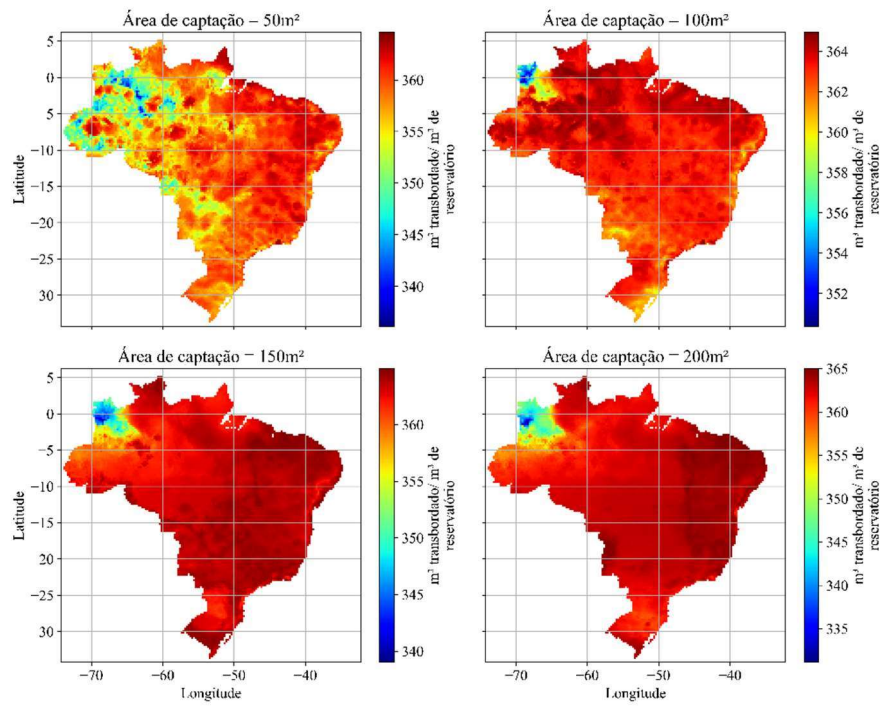
COV - Rippl Diário - D-3001/d



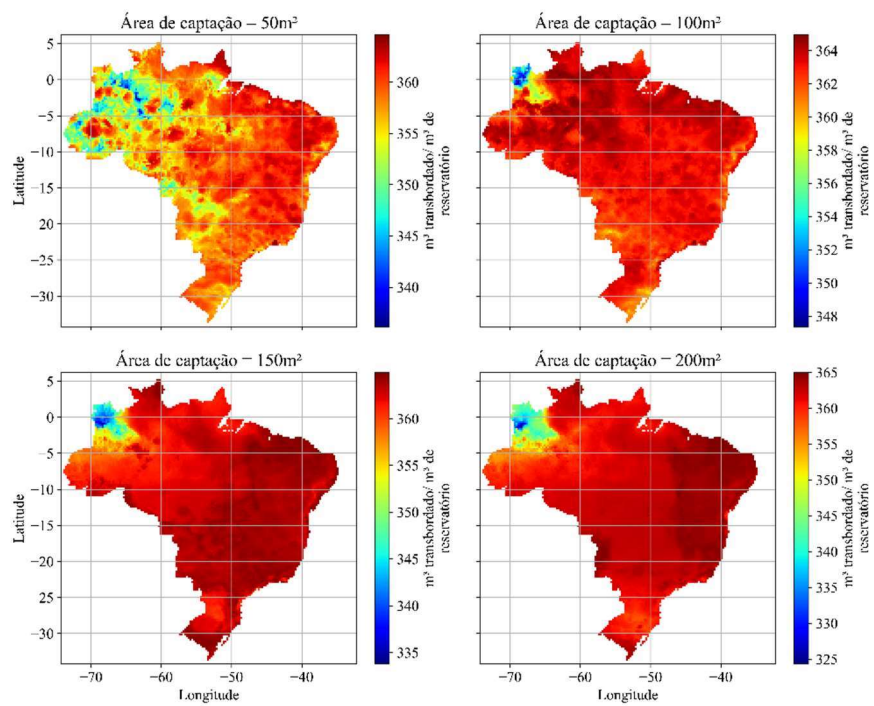
COV - Rippl Diário - D-4001/d



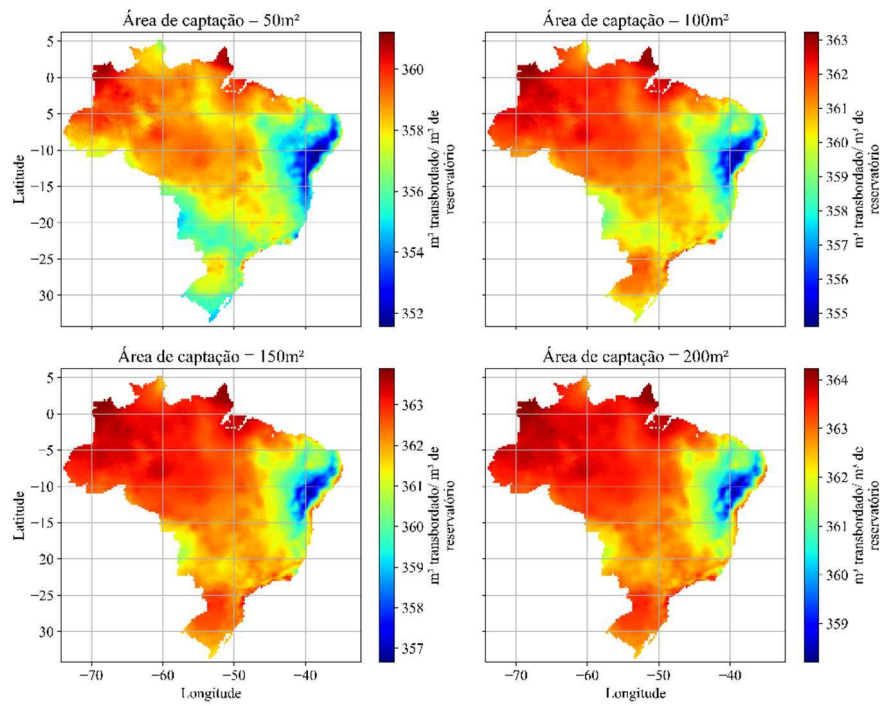
COV - Rippl Diário - D-500L/d



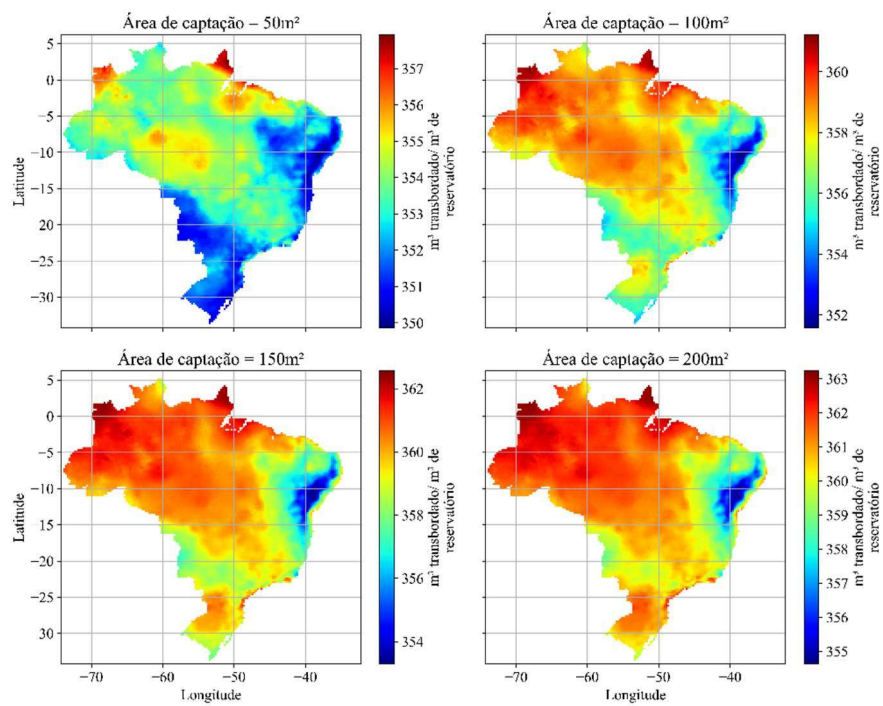
COV - Rippl Diário - D-600L/d



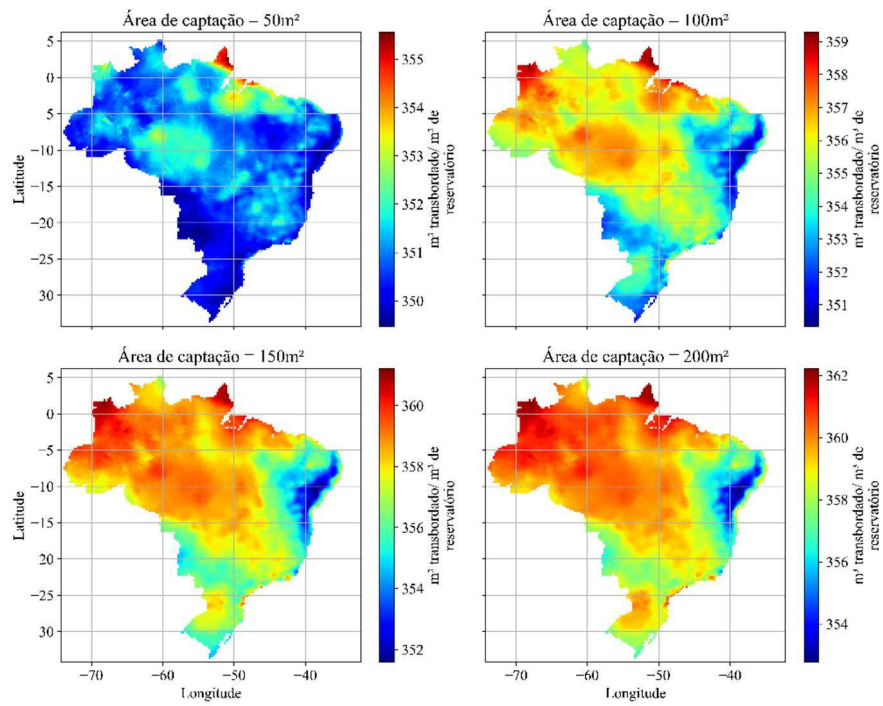
COV - Prático Inglês - D-100L/d



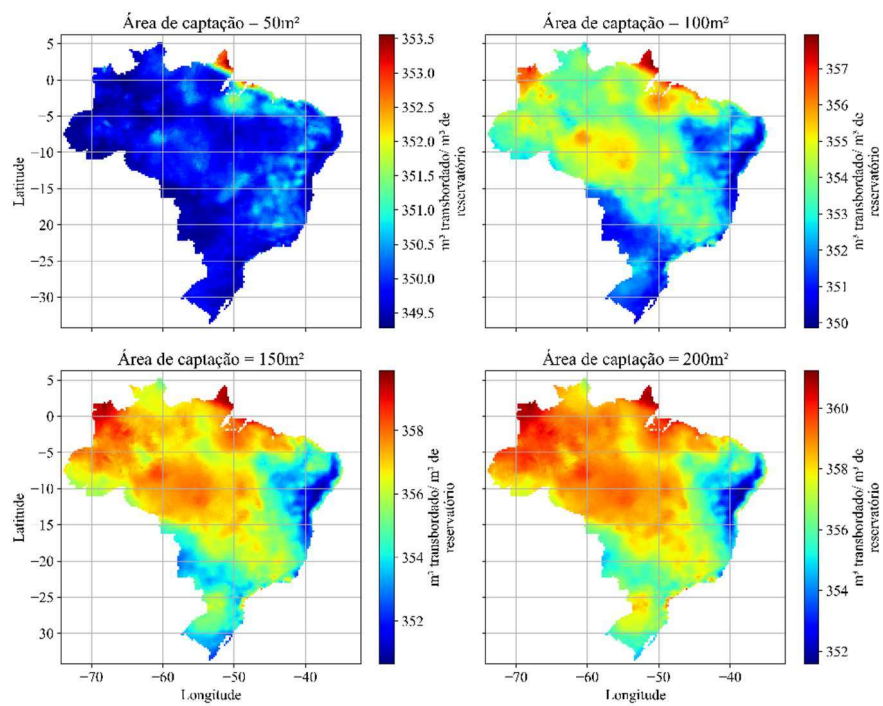
COV - Prático Inglês - D-200L/d



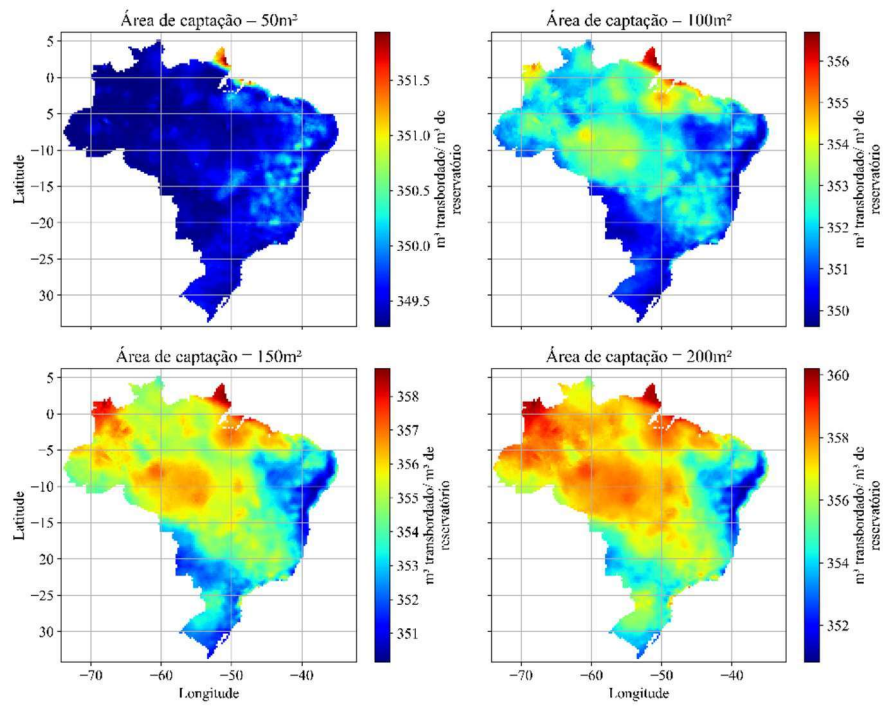
COV - Prático Inglês - D-300L/d



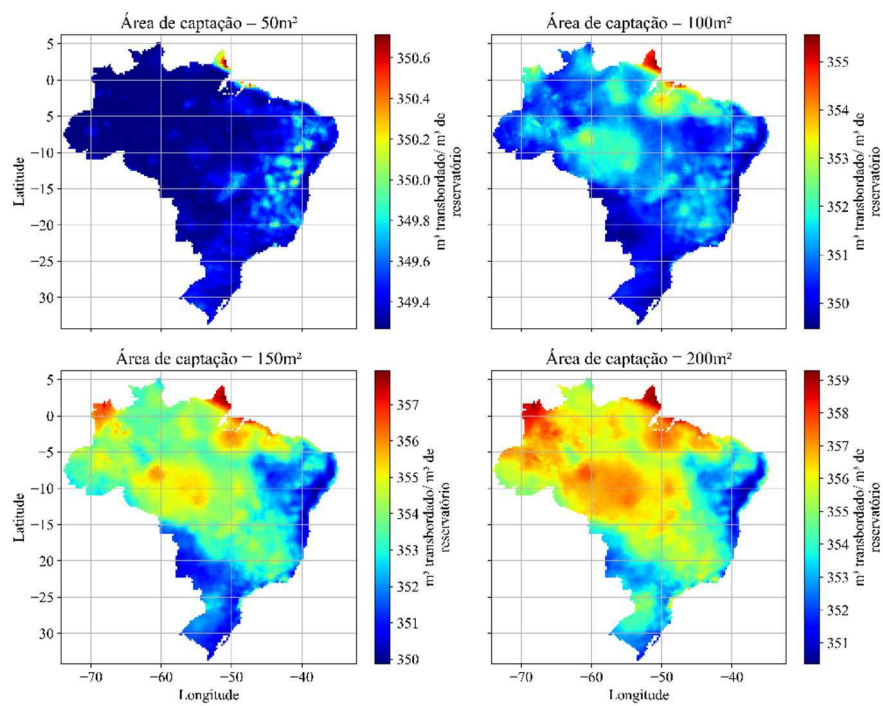
COV - Prático Inglês - D-400L/d



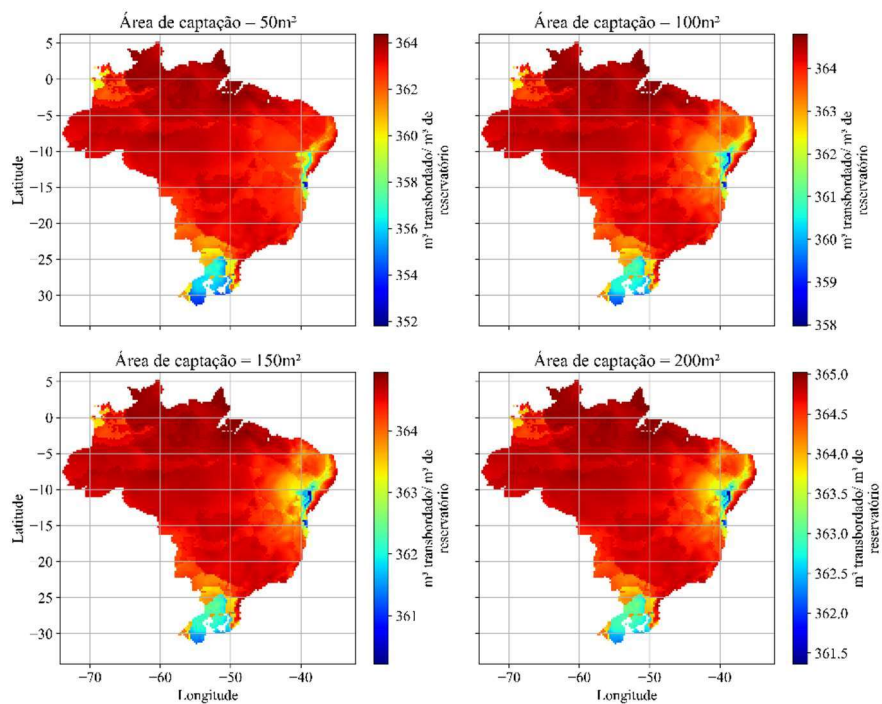
COV - Prático Inglês - D-500L/d



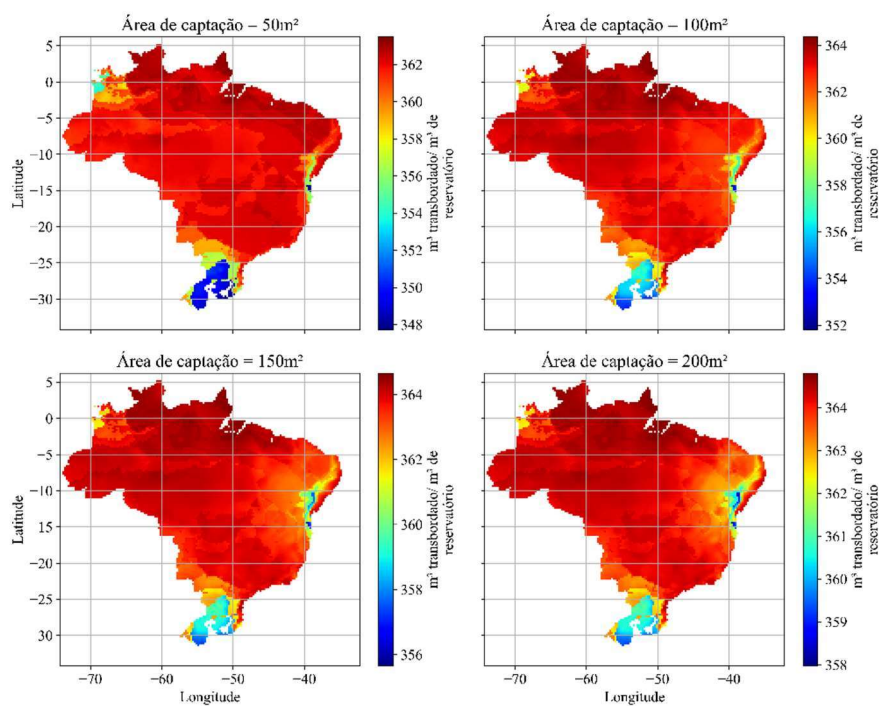
COV - Prático Inglês - D-600L/d



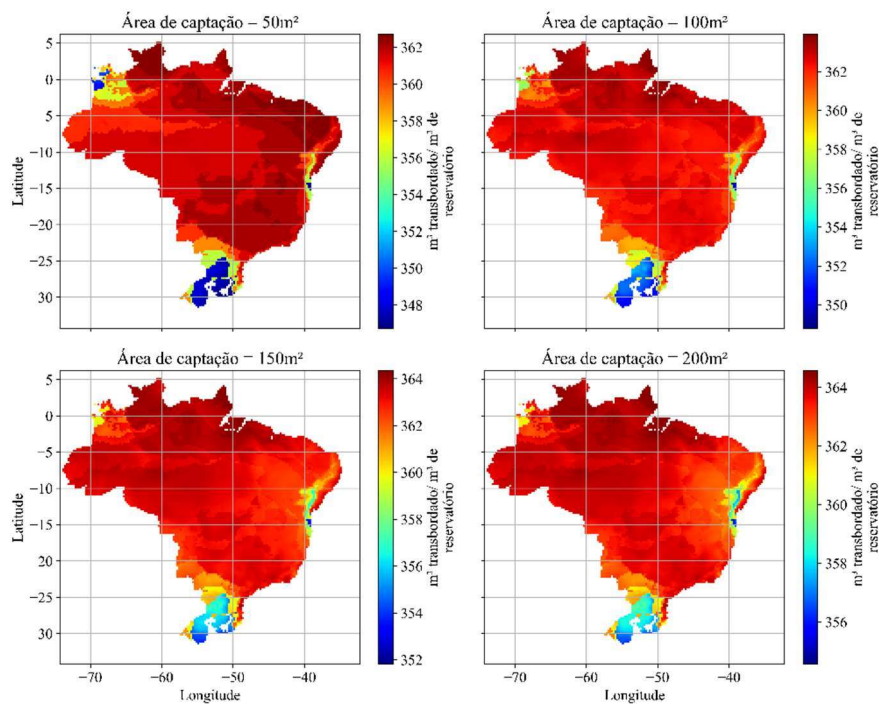
COV - Azevedo Neto var - D-100L/d



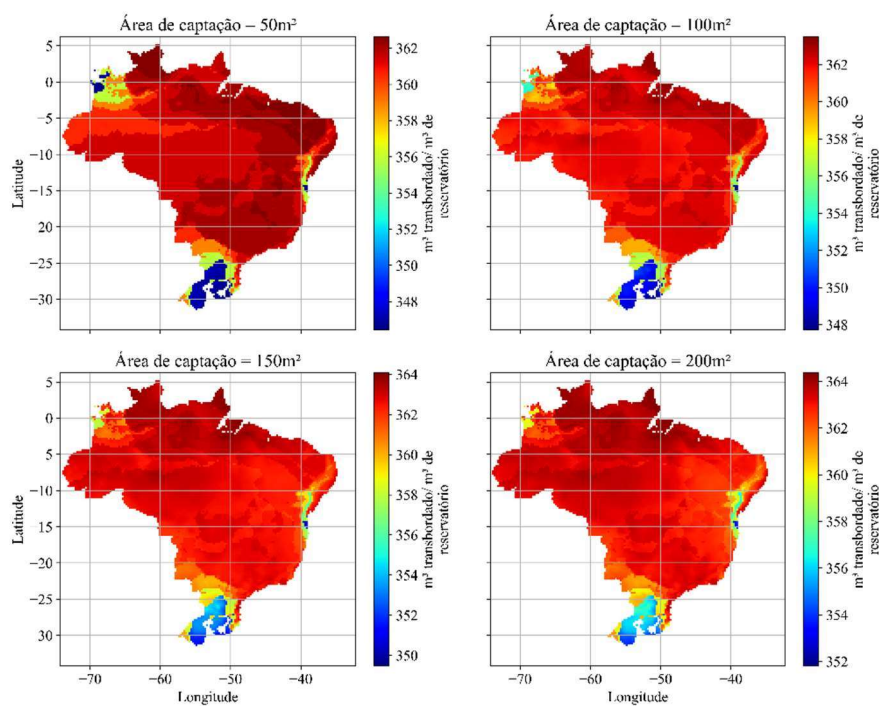
COV - Azevedo Neto var - D-200L/d



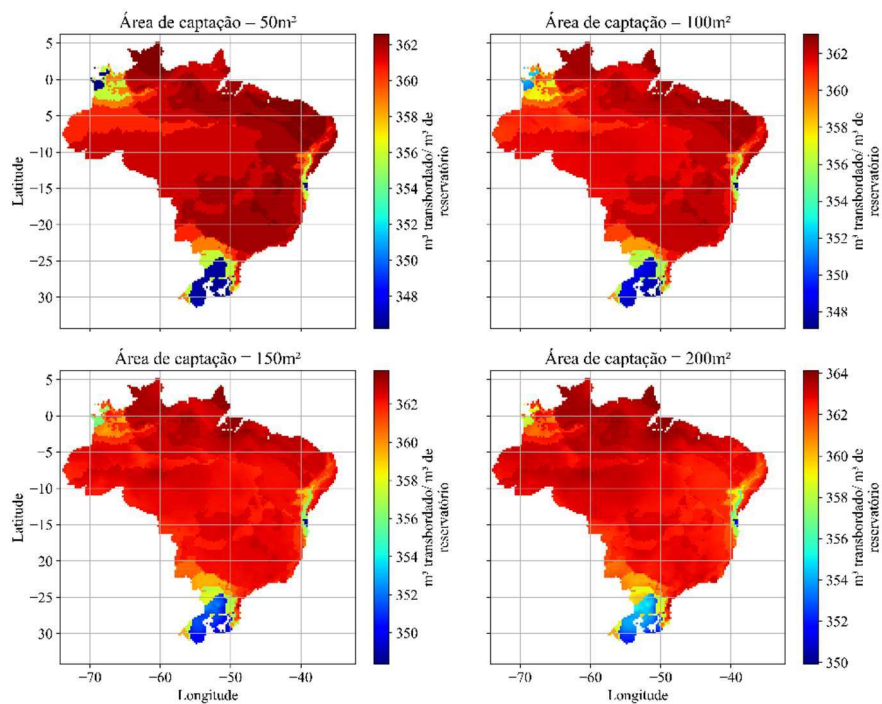
COV - Azevedo Neto var - D-300L/d



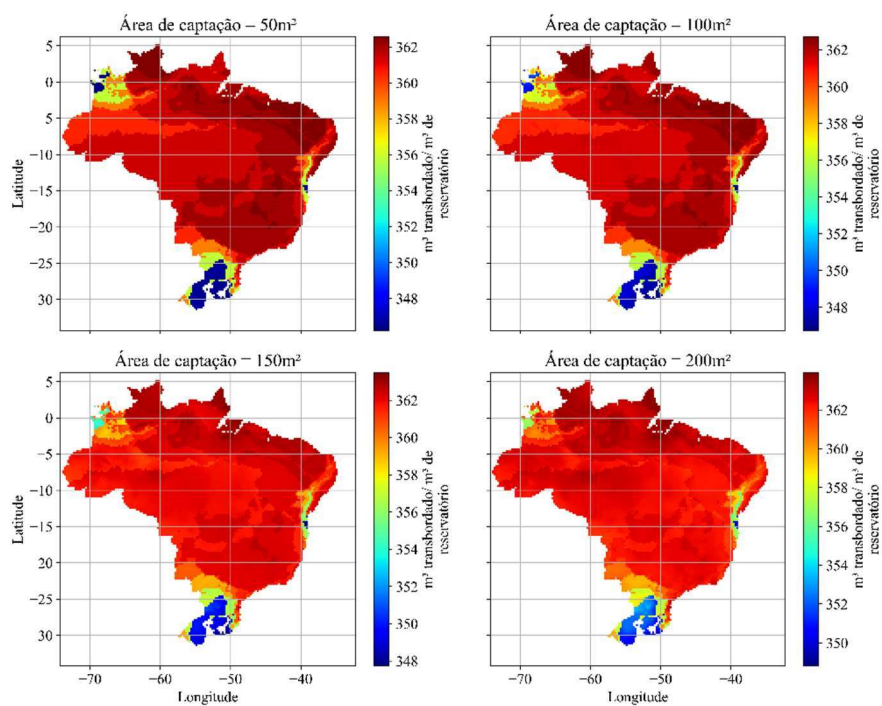
COV - Azevedo Neto var - D-400L/d



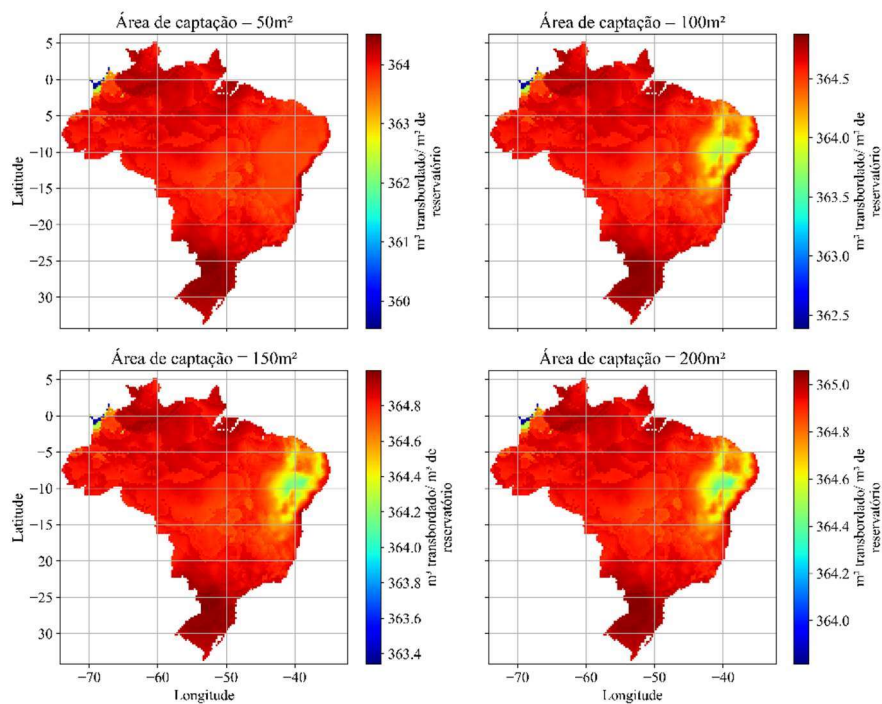
COV - Azevedo Neto var - D-500L/d



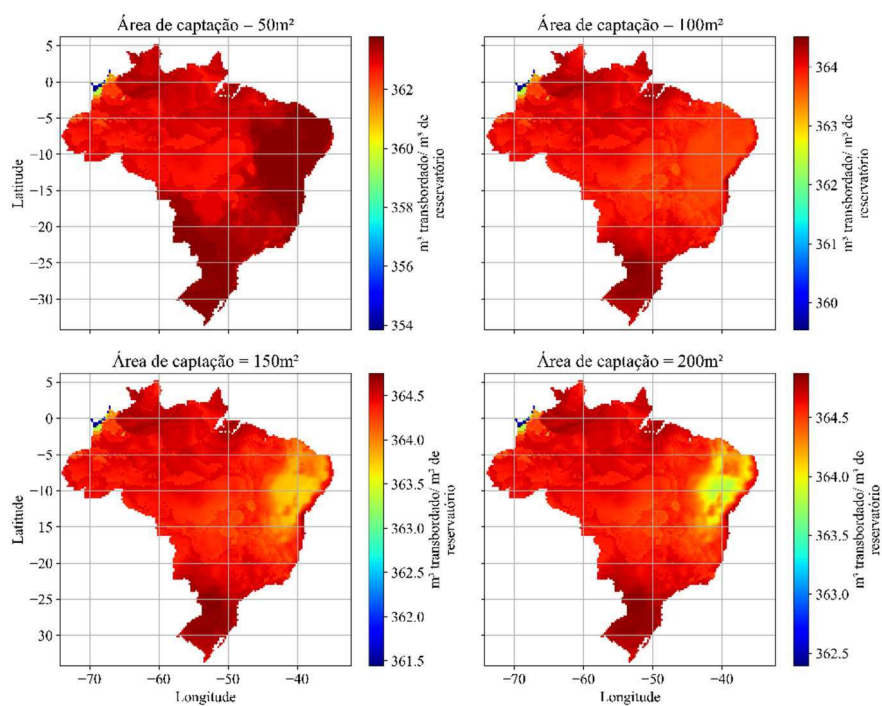
COV - Azevedo Neto var - D-600L/d



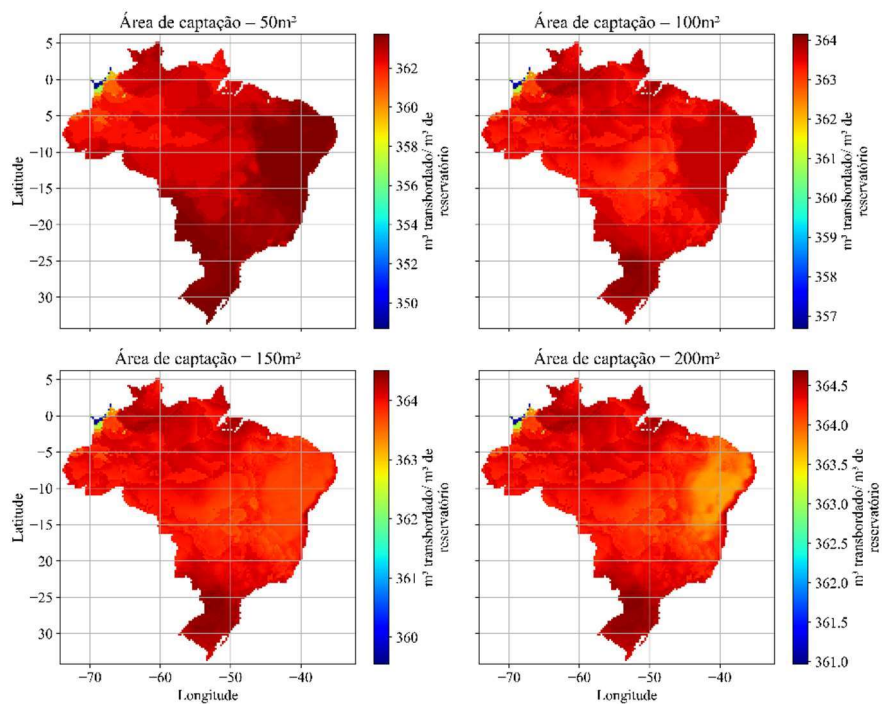
COV - Azevedo Neto 210mm - D=100L/d



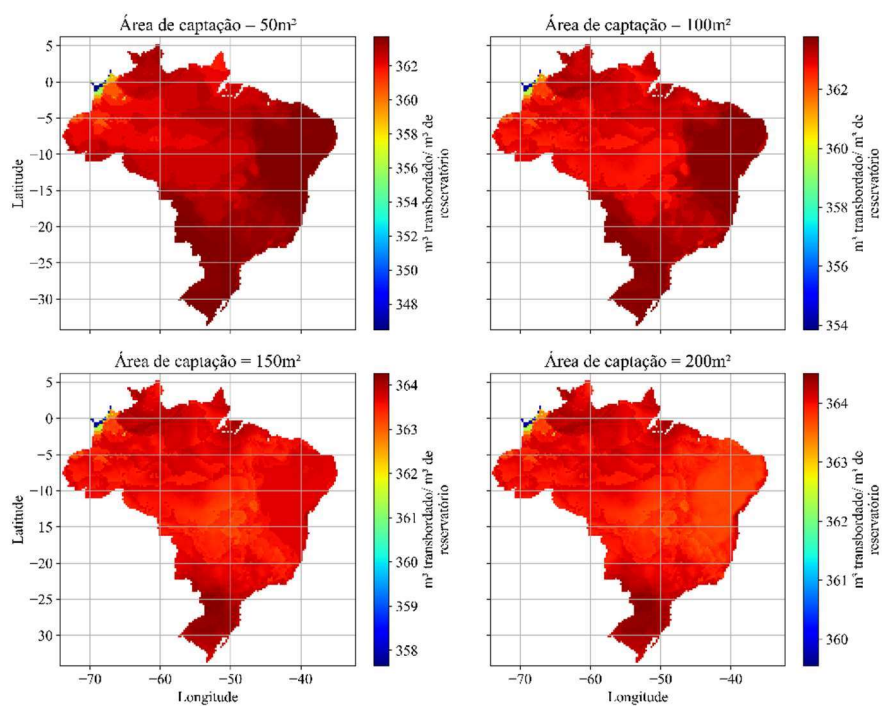
COV - Azevedo Neto 210mm - D=200L/d



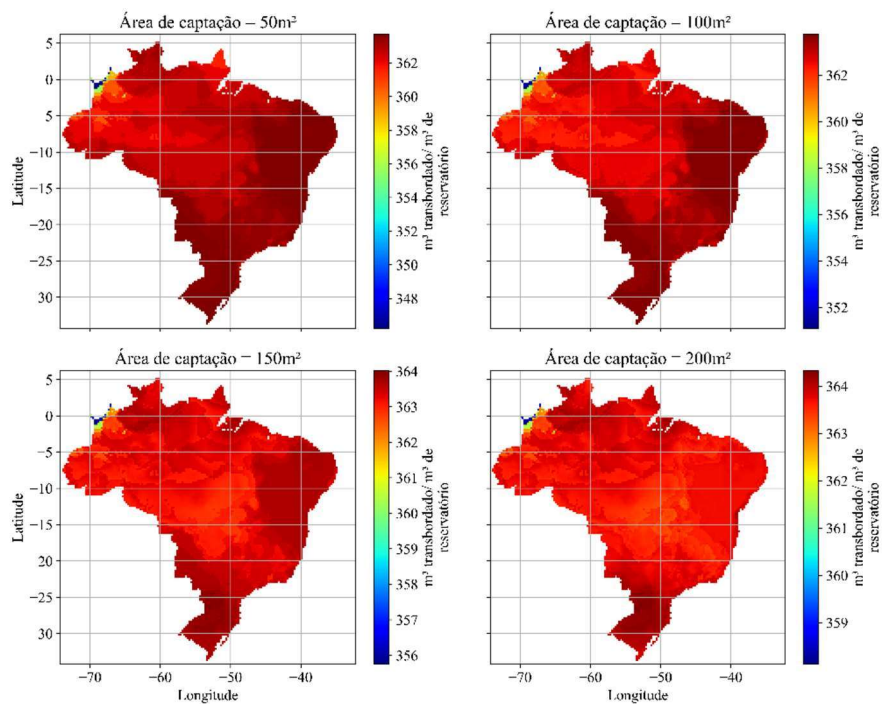
COV - Azevedo Neto 210mm - D-300L/d



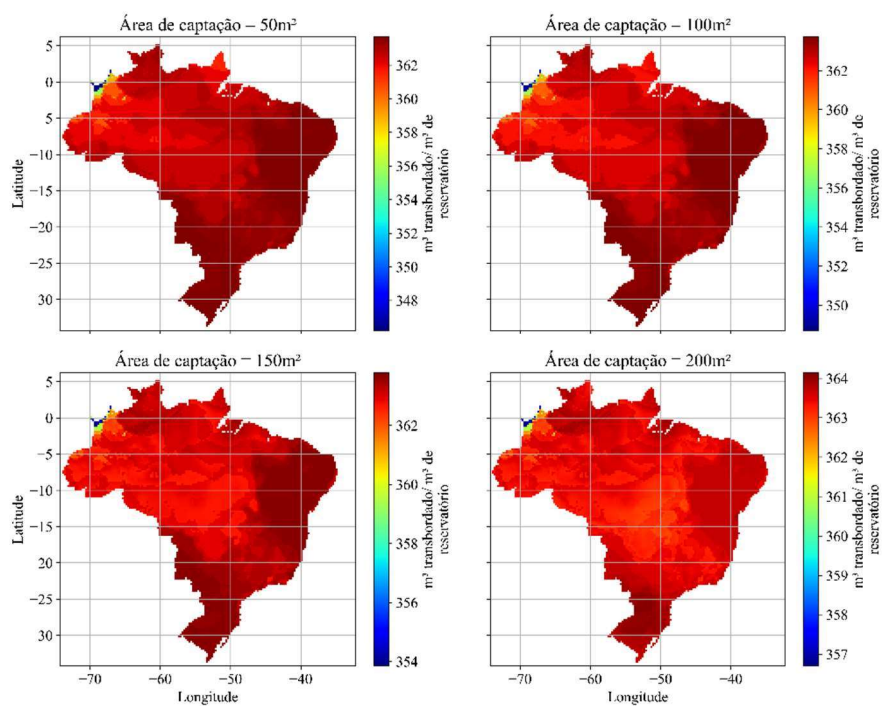
COV - Azevedo Neto 210mm - D-400L/d



COV - Azevedo Neto 210mm - D-500L/d

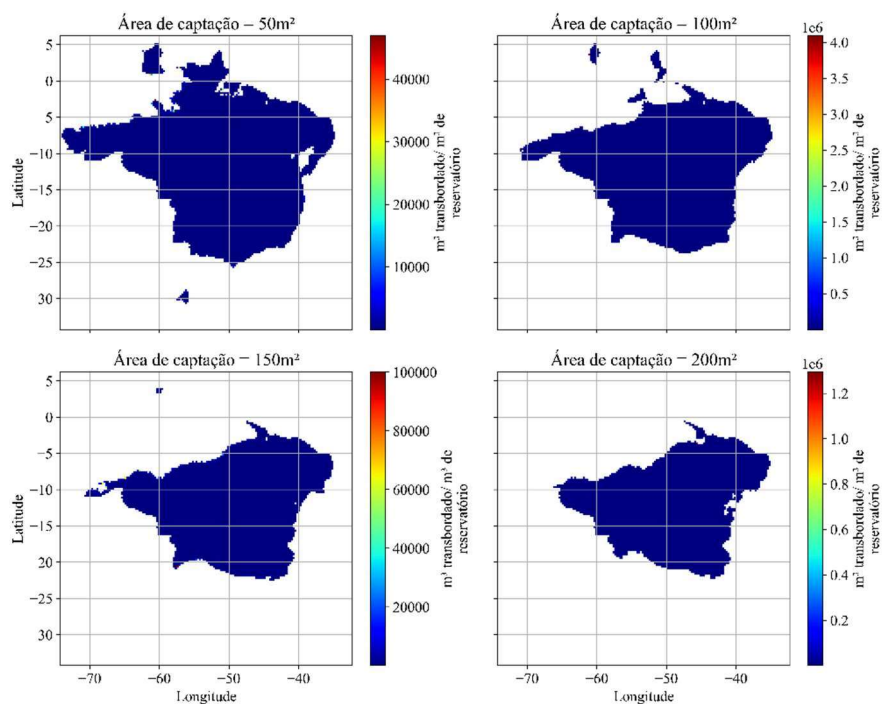


COV - Azevedo Neto 210mm - D-600L/d

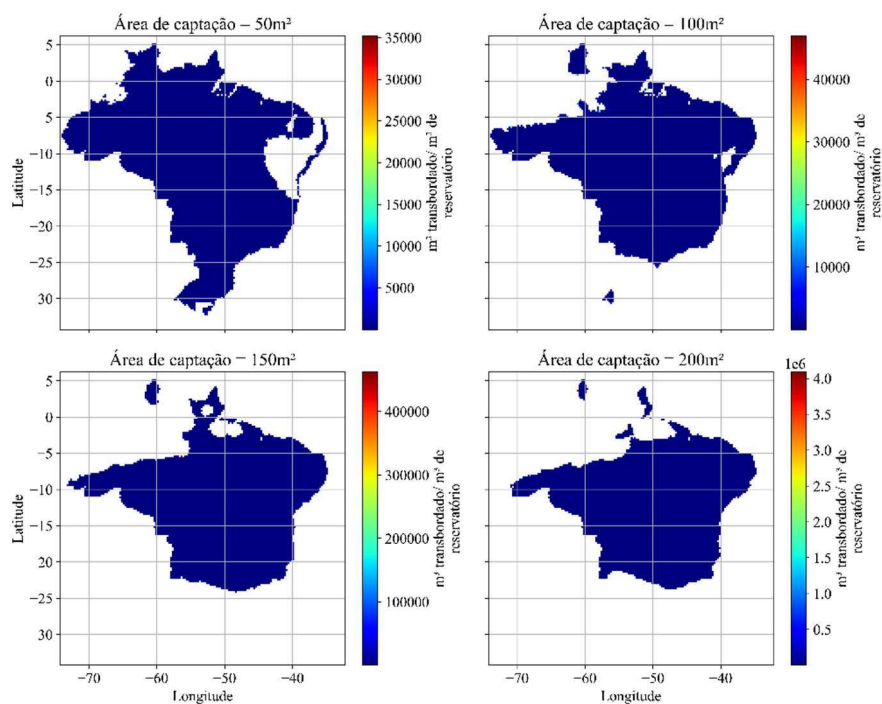


Coeficiente de Transbordamento Volumétrico

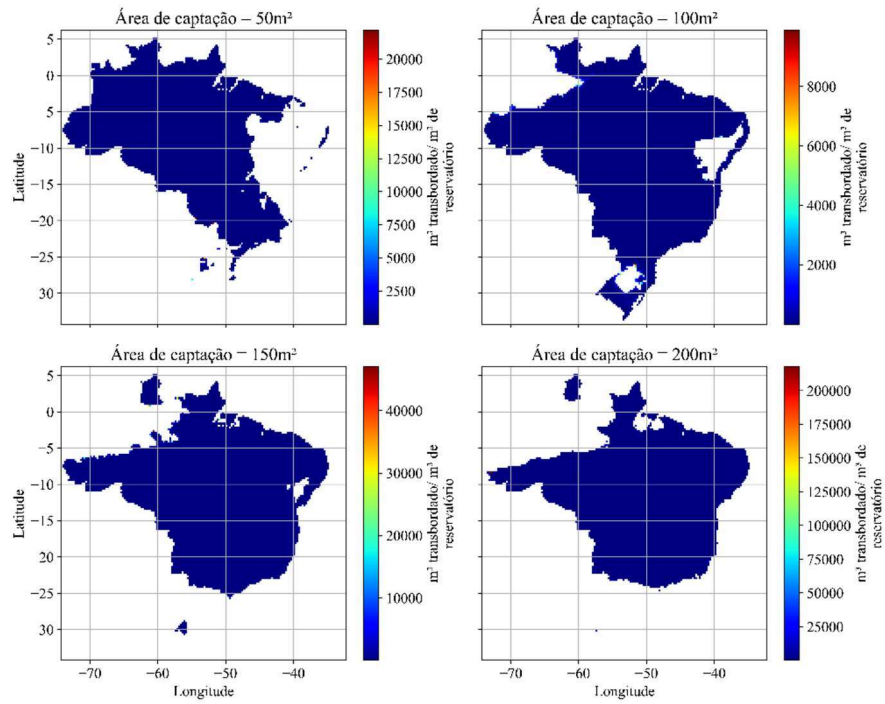
CTV - Rippl Mensal - D-100L/d



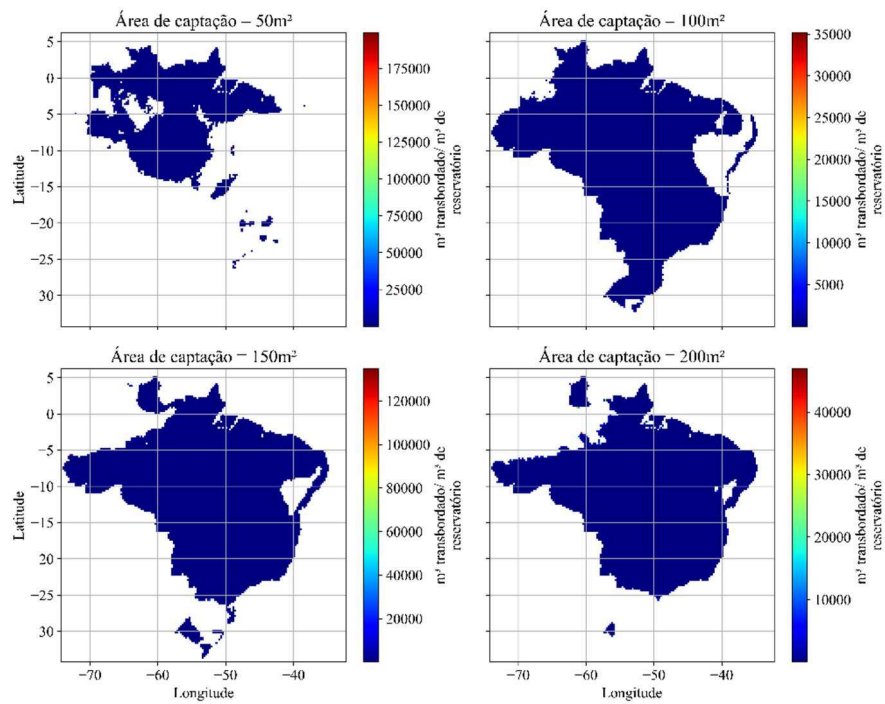
CTV - Rippl Mensal - D-200L/d



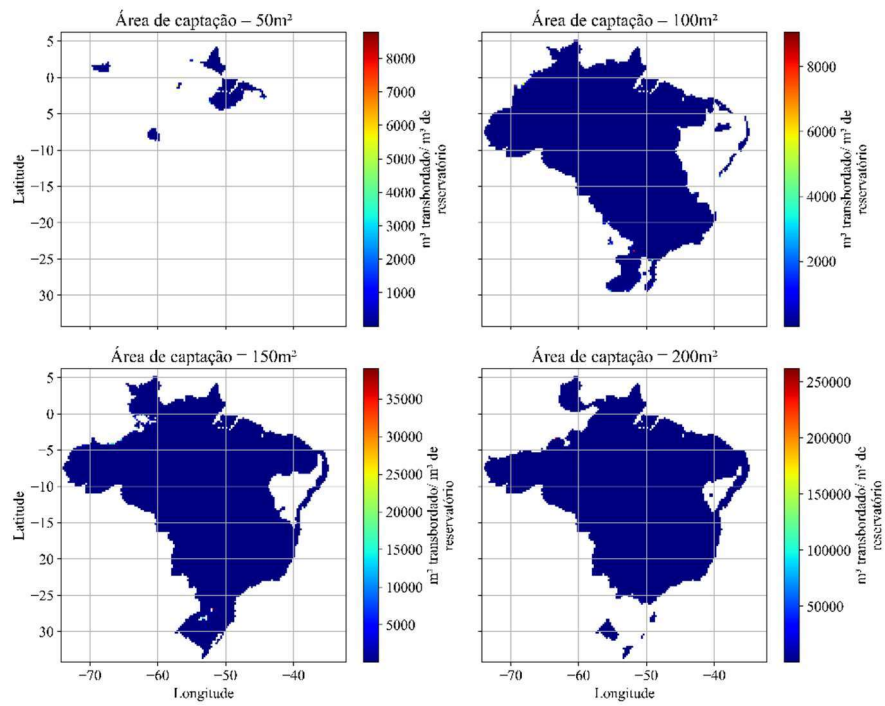
CTV - Rippl Mensal - D-300l/d



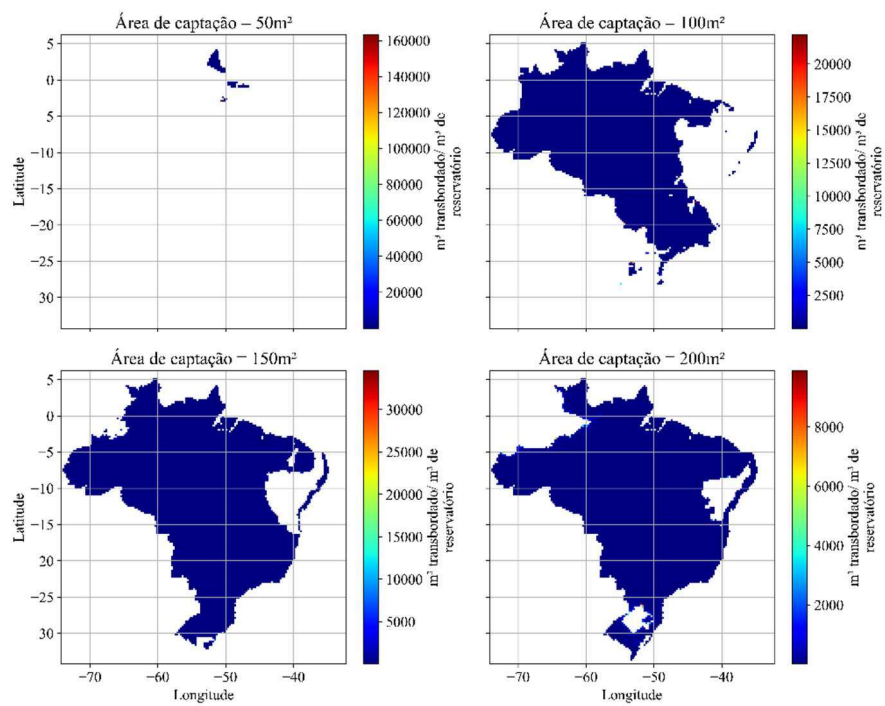
CTV - Rippl Mensal - D-400l/d



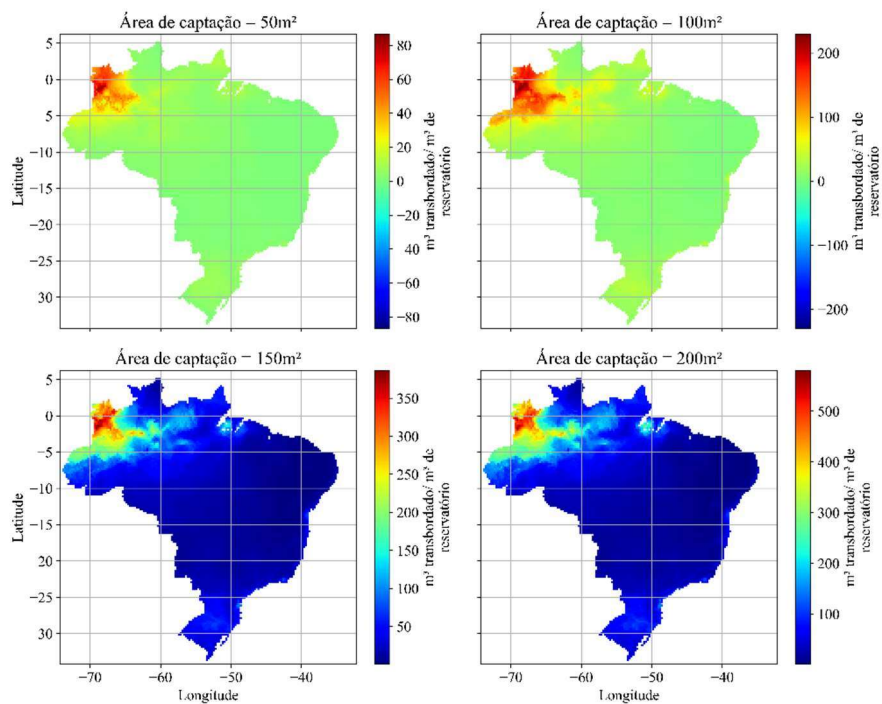
CTV - Rippl Mensal - D-500l/d



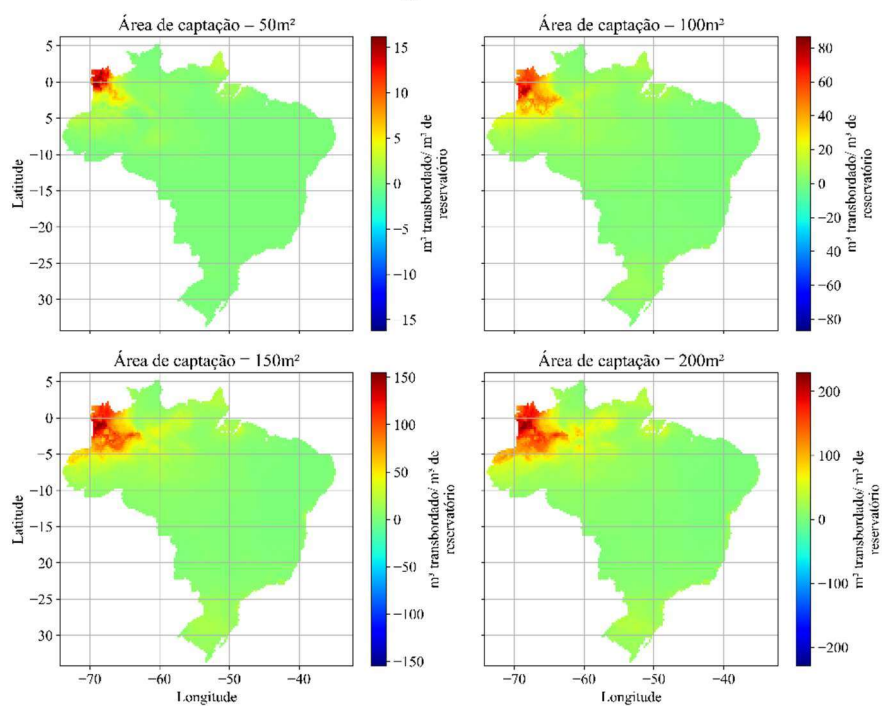
CTV - Rippl Mensal - D-600l/d



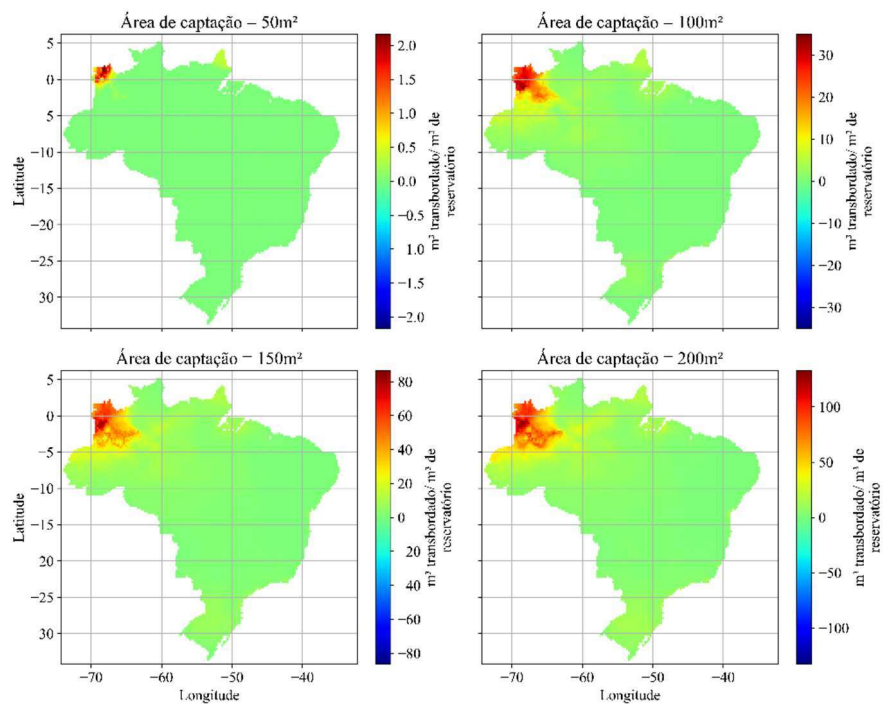
CTV - Rippl Diário - D-1001/d



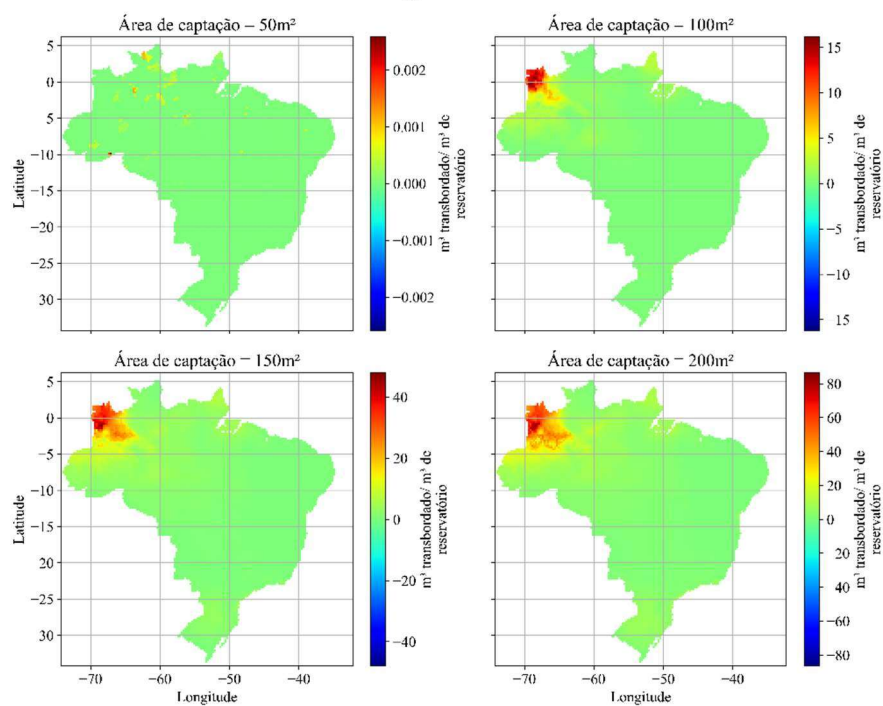
CTV - Rippl Diário - D-2001/d



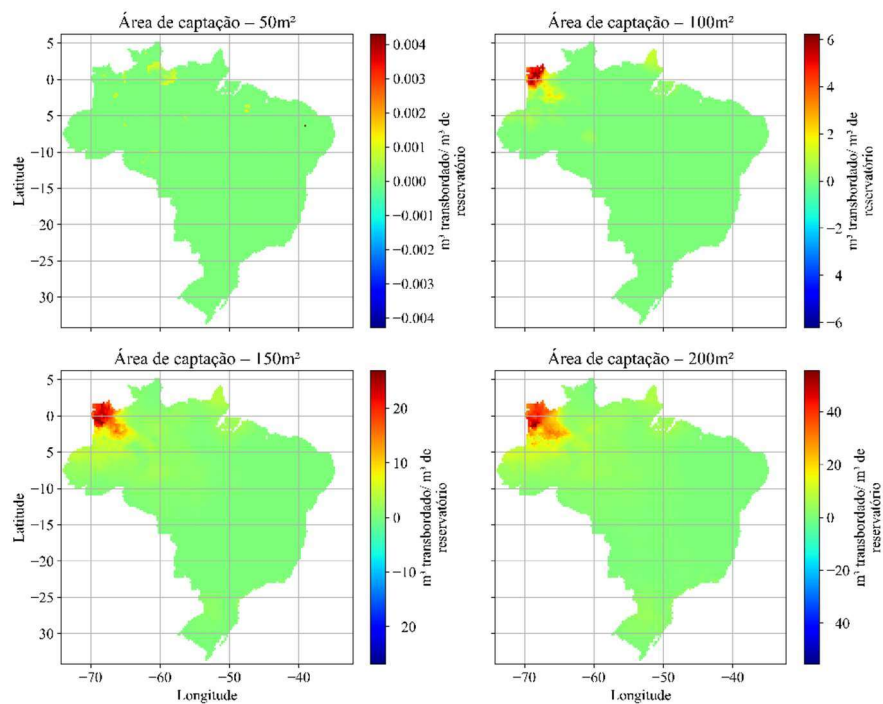
CTV - Rippl Diário - D-3001/d



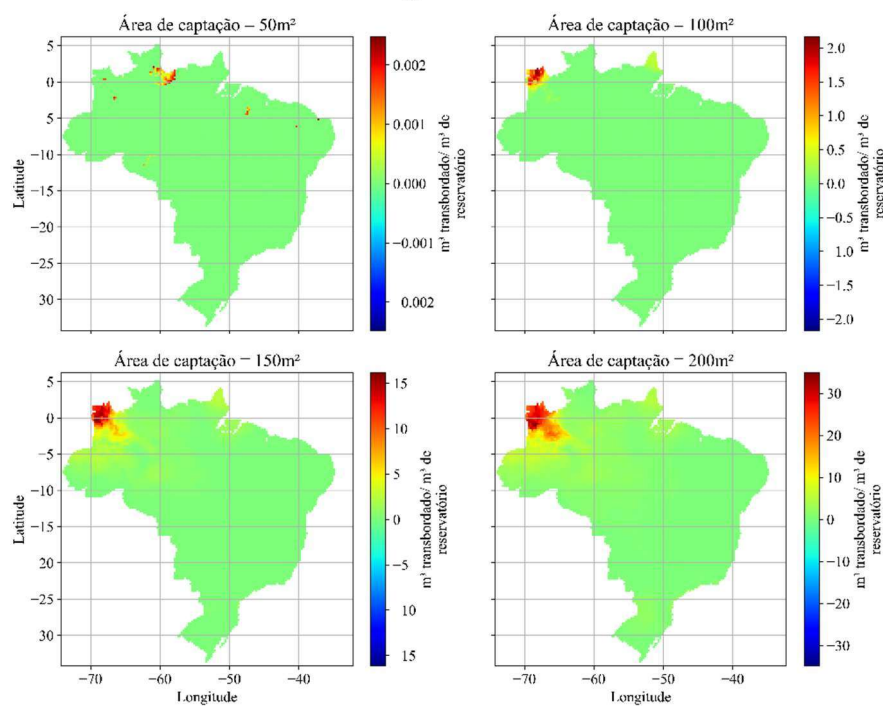
CTV - Rippl Diário - D-4001/d



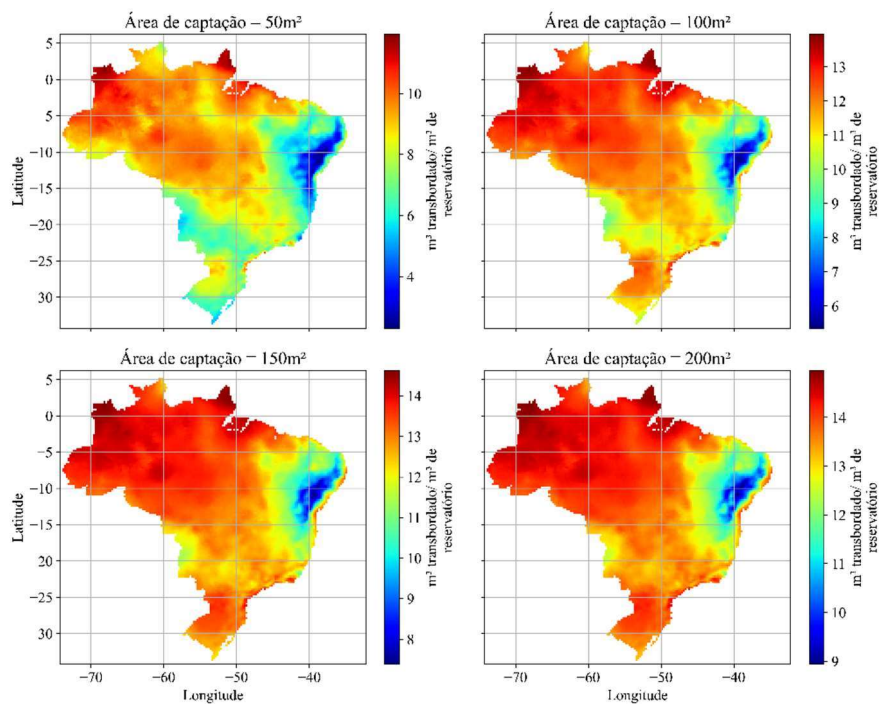
CTV - Rippl Diário - D-5001/d



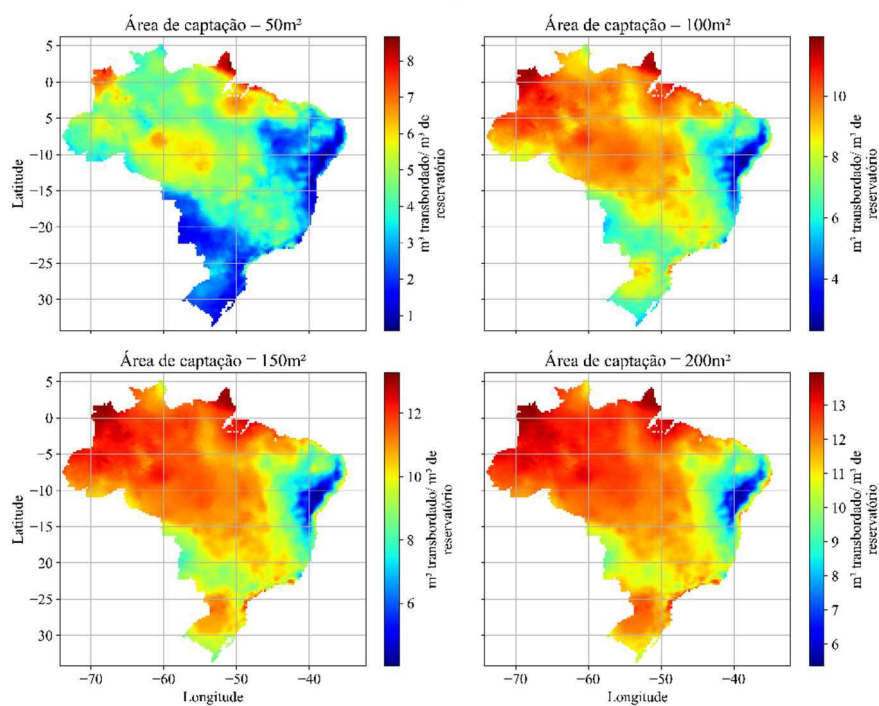
CTV - Rippl Diário - D-6001/d



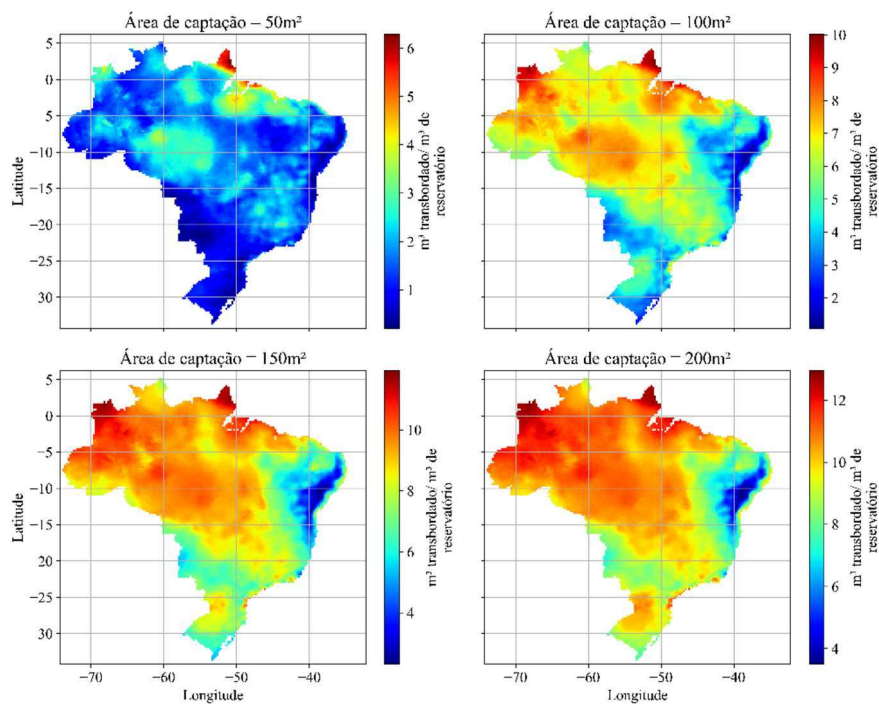
CTV - Prático Inglês - D-100L/d



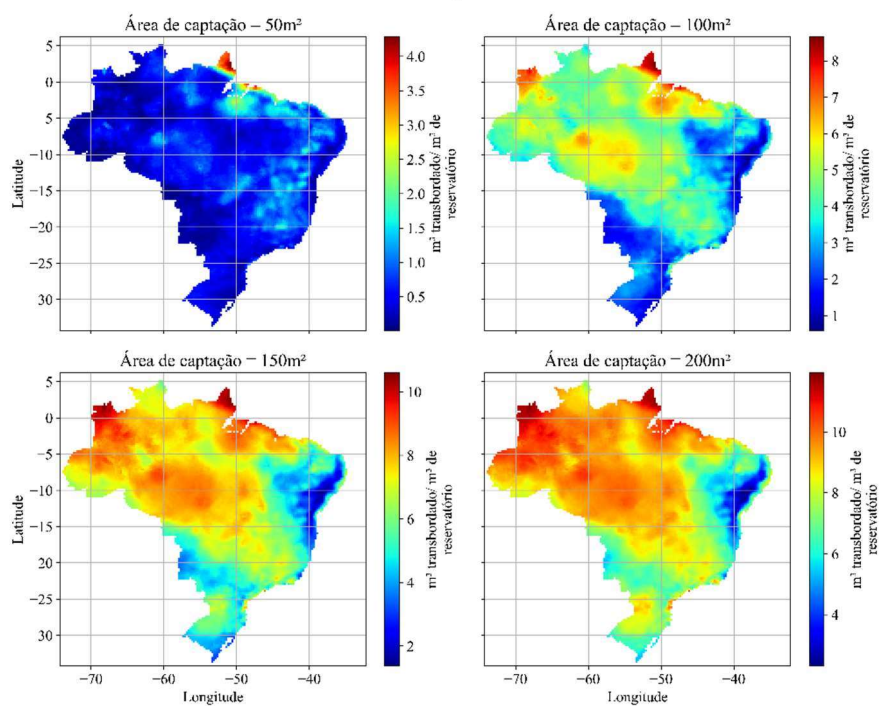
CTV - Prático Inglês - D-200L/d



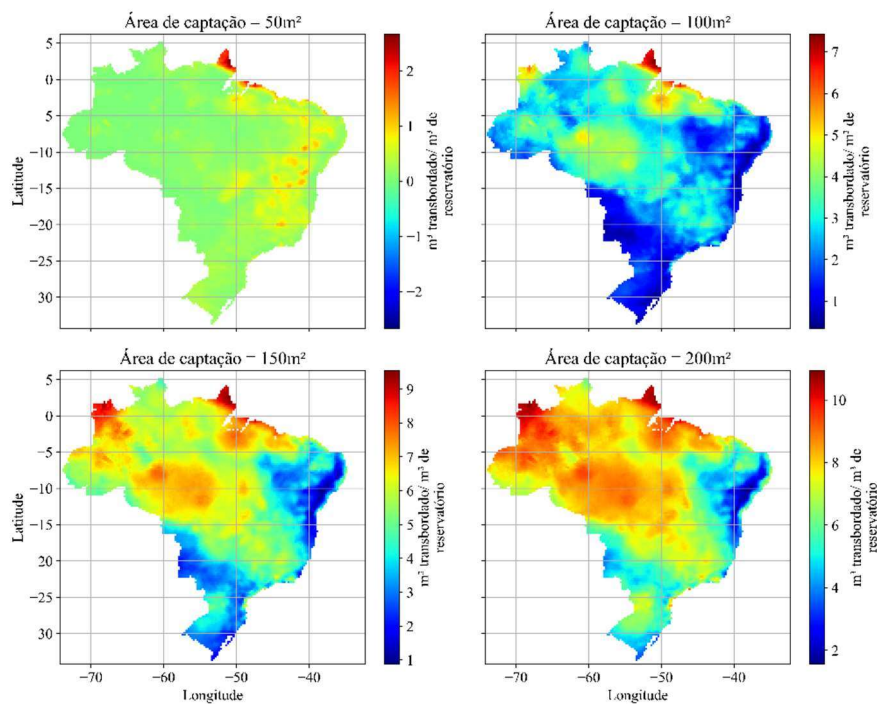
CTV - Prático Inglês - D-300L/d



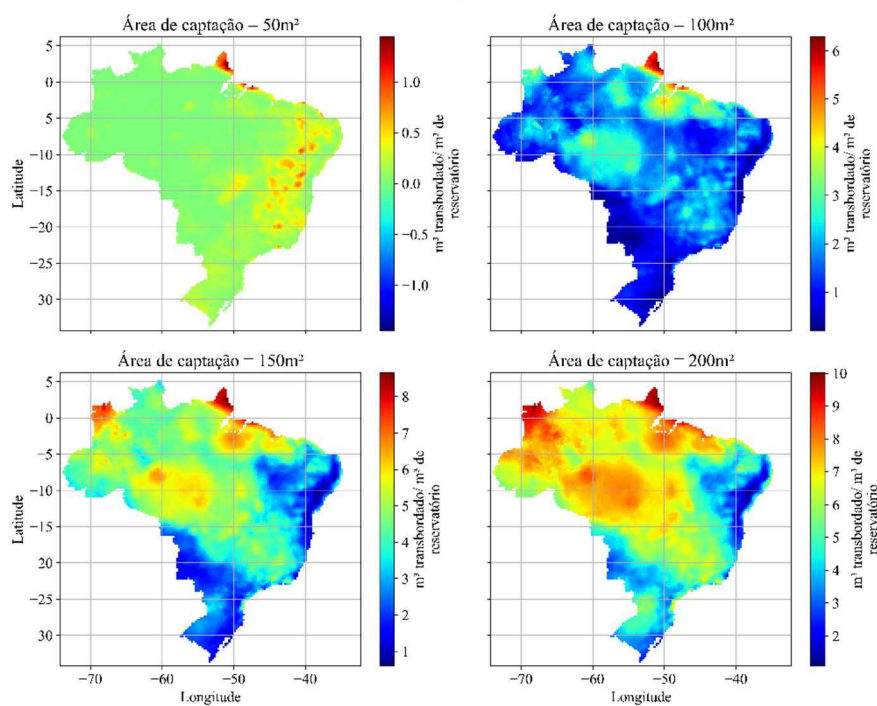
CTV - Prático Inglês - D-400L/d



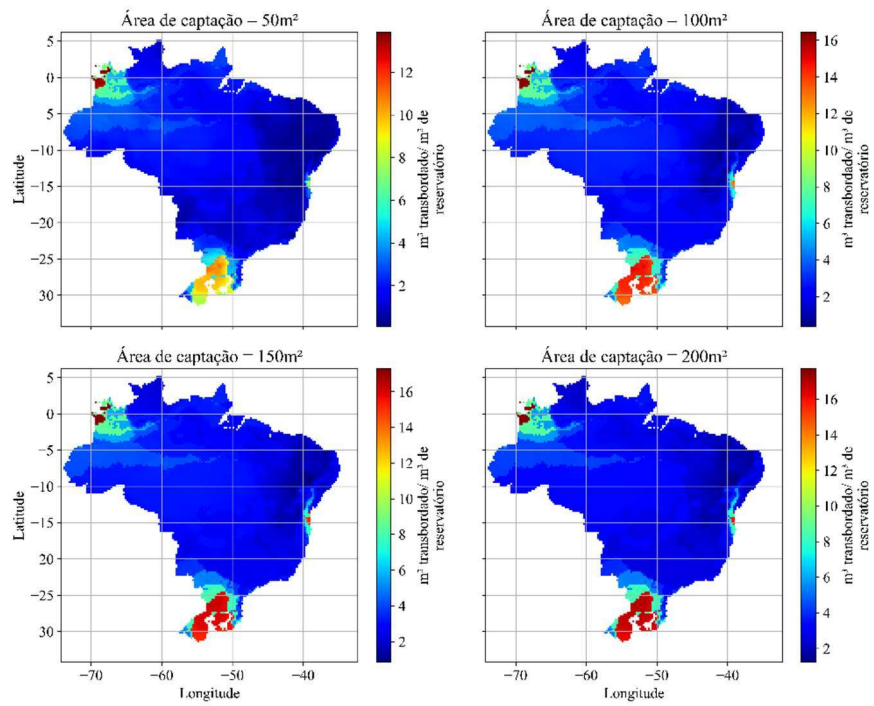
CTV - Prático Inglês - D-500L/d



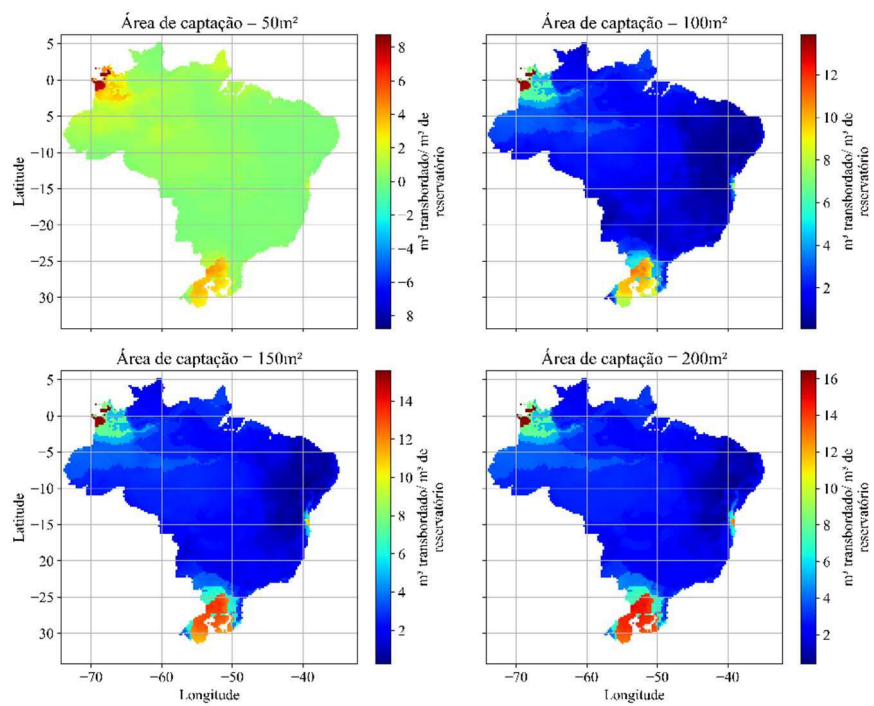
CTV - Prático Inglês - D-600L/d



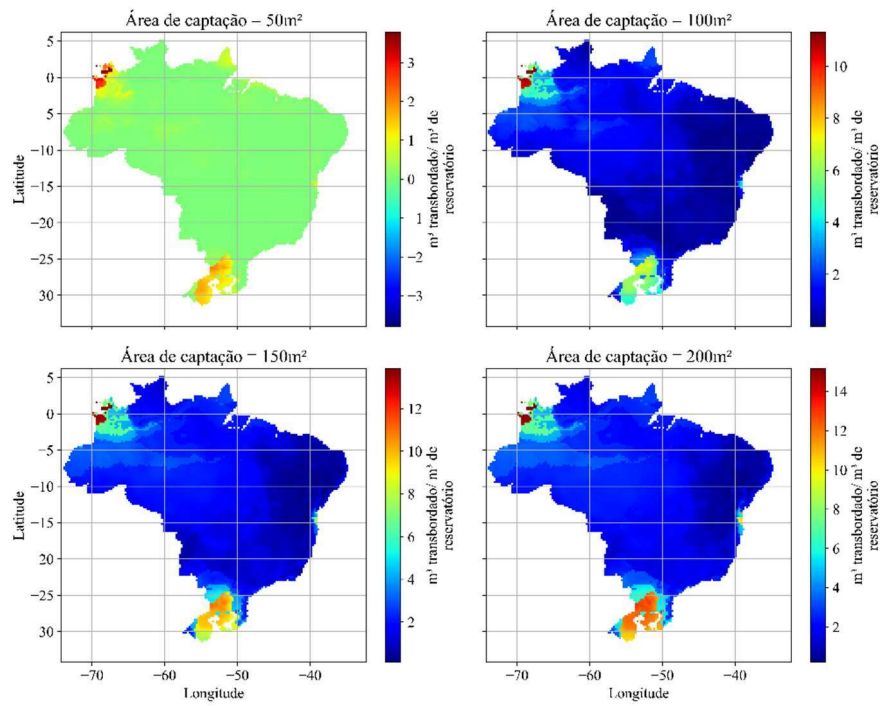
CTV - Azevedo Neto var - D-100L/d



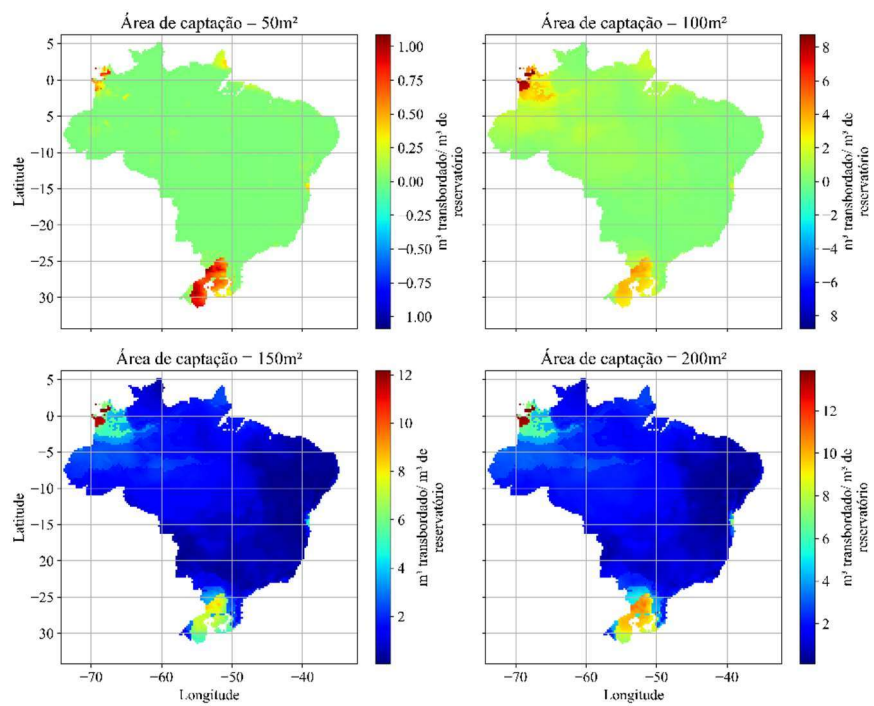
CTV - Azevedo Neto var - D-200L/d



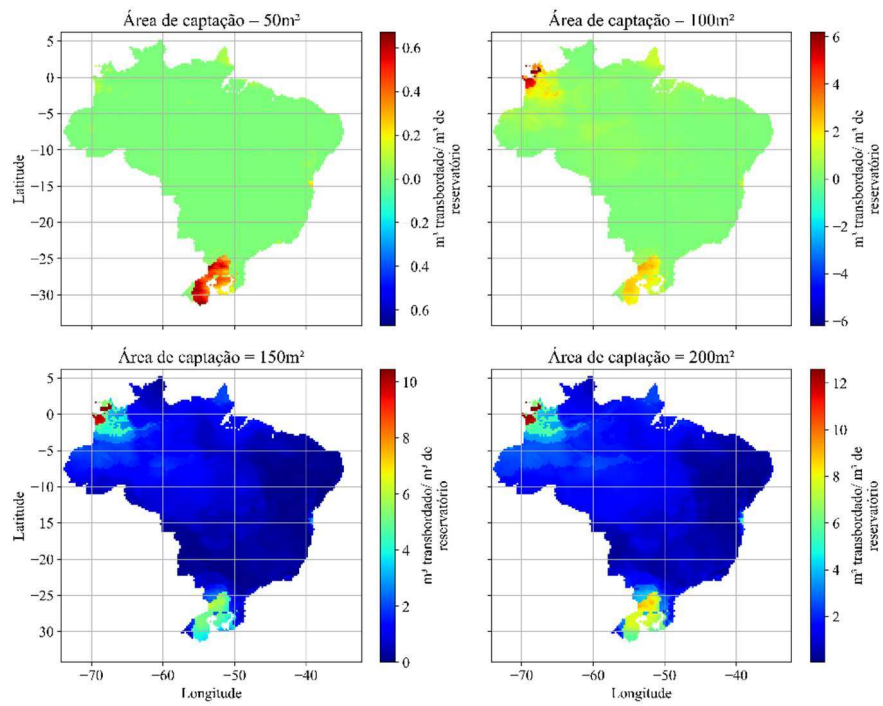
CTV - Azevedo Neto var - D-3001/d



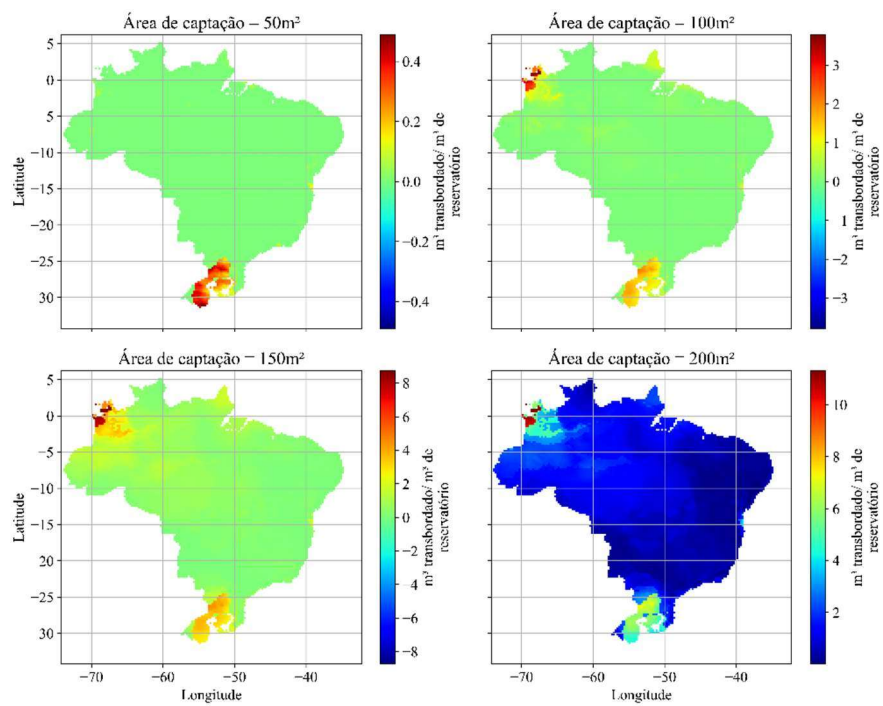
CTV - Azevedo Neto var - D-4001/d



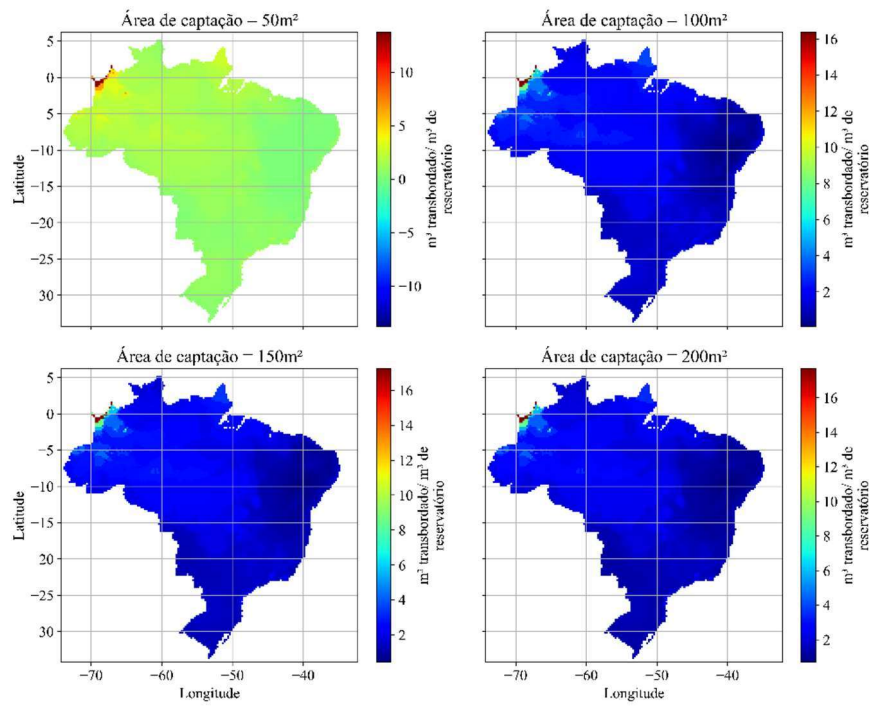
CTV - Azevedo Neto var - D-5001./d



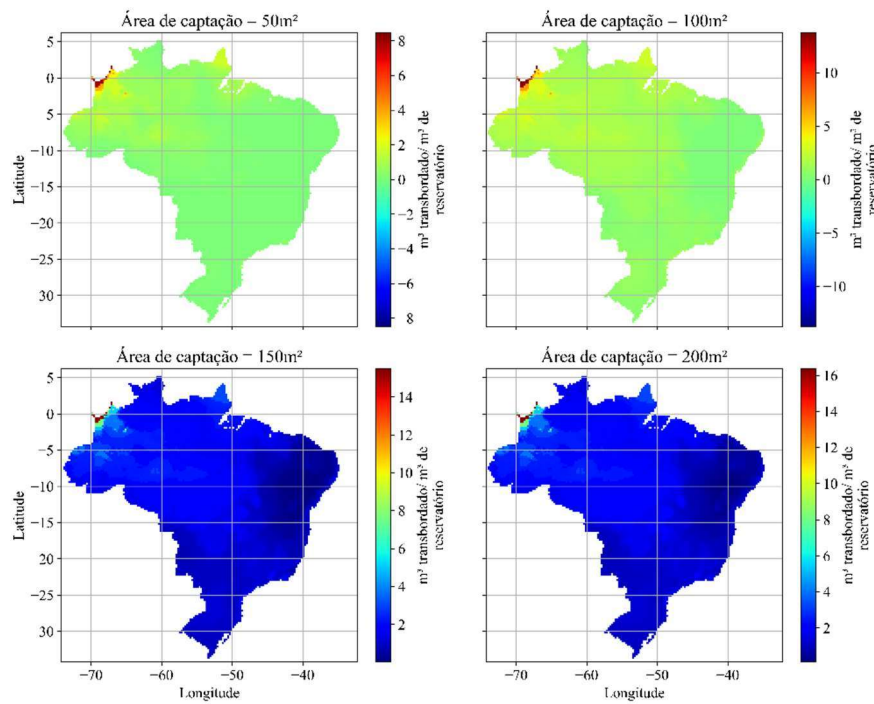
CTV - Azevedo Neto var - D-6001./d



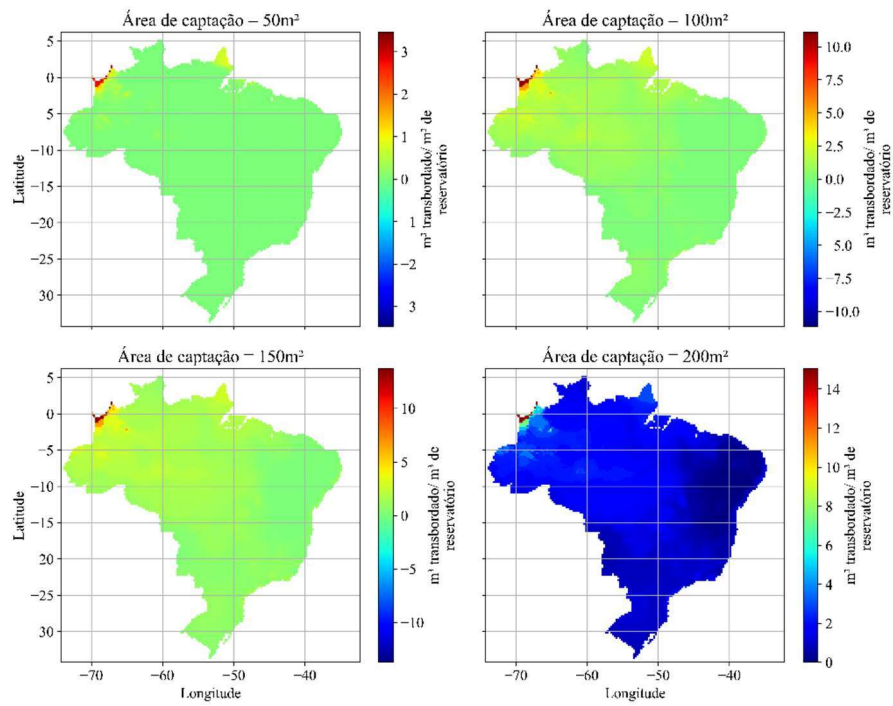
CTV - Azevedo Neto 210mm - D-100L/d



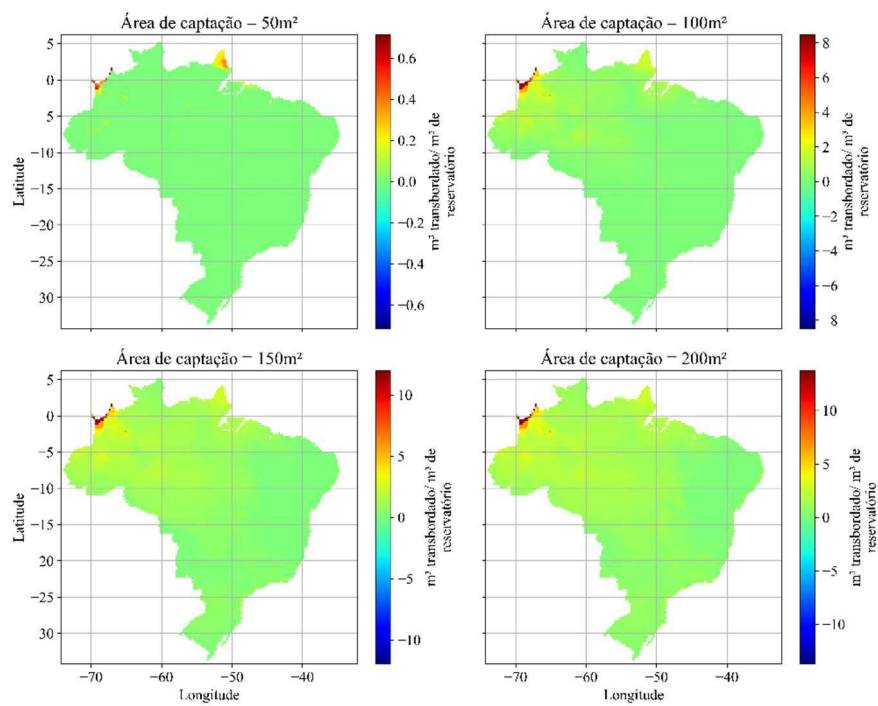
CTV - Azevedo Neto 210mm - D-200L/d



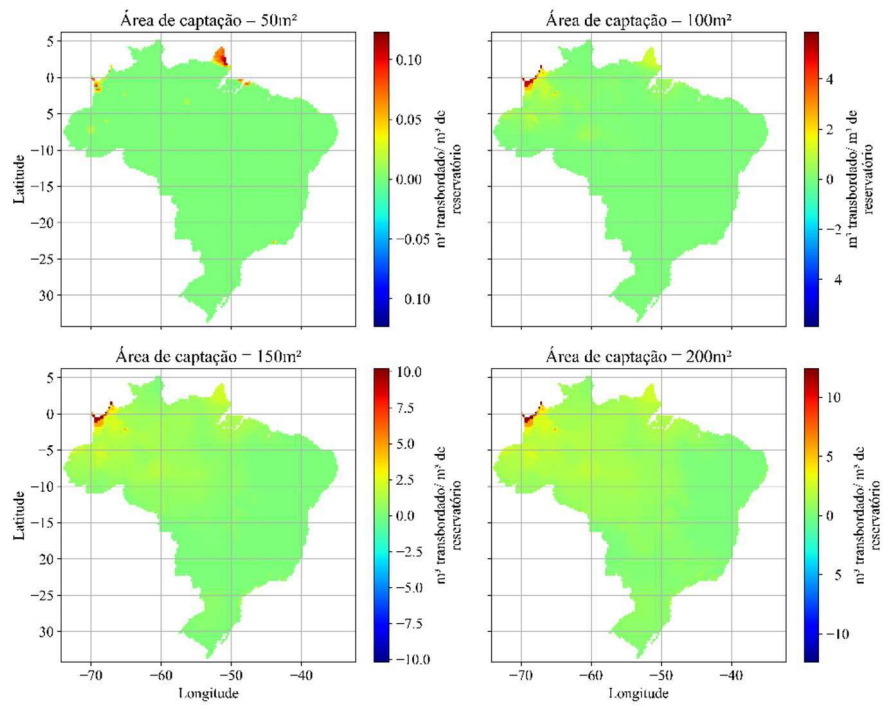
CTV - Azevedo Neto 210mm - D-300L/d



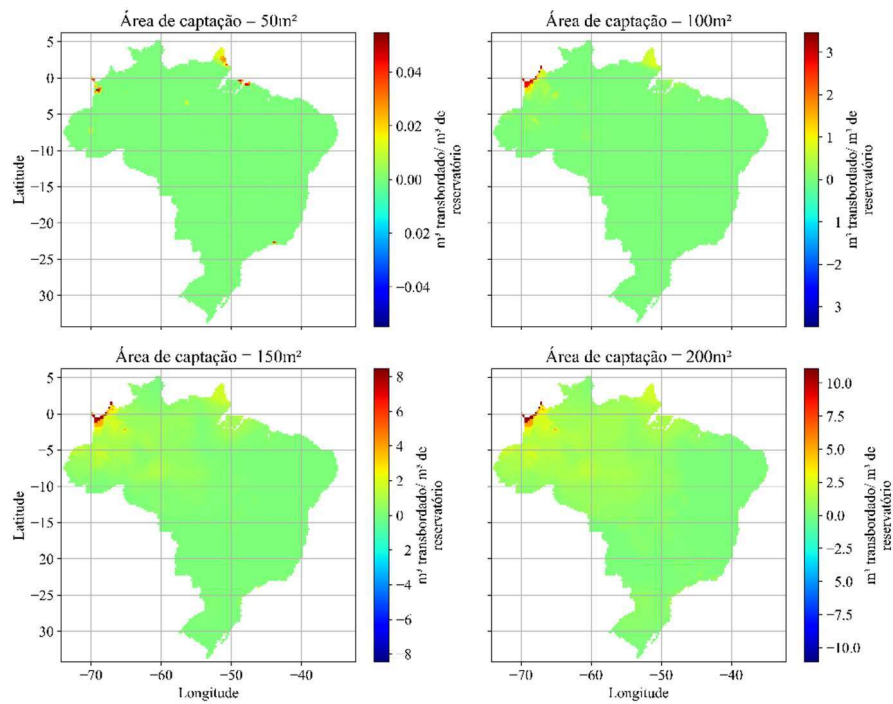
CTV - Azevedo Neto 210mm - D-400L/d



CTV - Azevedo Neto 210mm - D-500L/d



CTV - Azevedo Neto 210mm - D-600L/d



APÊNDICE B

Algoritmo	Página
1. Metodologia de dimensionamento de reservatórios	188

Metodologia de dimensionamento de reservatórios

Metodologia de dimensionamento de reservatório baseado nos CEV, COV e CTV, desenvolvido por Cinthya Santos - PPGECA/UEPB - santosscinthya@gmail.com

```
import tkinter as tk
from tkinter import filedialog
# import os
import netCDF4 as nc
import xarray as xr
import numpy as np
from tkinter import messagebox
import pandas as pd
import sys
```

In []:

```
# Cria a janela principal
root = tk.Tk()
root.title('Dimensionamento de reservatórios para armazenamento de
água de chuva')
```

In []:

```
# Definir as dimensões da janela
root.geometry('875x450')
```

In []:

```
# cria um rótulo com informações
label = tk.Label(root, text='Desenvolvido por Cinthya Santos -
PPGECA/UEPB')
label.pack()
```

In []:

```
# Define as opções disponíveis
opcoes_coeficiente = ['CEV', 'COV', 'CTV']
```

In []:

```
# Cria um objeto StringVar para armazenar a opção selecionada
coeficiente_selecionado = tk.StringVar(value=opcoes_coeficiente[0])
```

In []:

```
# Cria um label e um menu dropdown para o usuário selecionar o
coeficiente
label_coeficiente = tk.Label(root, text='Escolha o coeficiente no qual
será baseado o dimensionamento:')
label_coeficiente.pack()
menu_coeficiente = tk.OptionMenu(root, coeficiente_selecionado,
*opcoes_coeficiente)
menu_coeficiente.pack()
```

In []:

```
def selecao_coeficiente():
    # Obtém o coeficiente selecionado pelo usuário
    coeficiente = coeficiente_selecionado.get()
    #mostra o coeficiente selecionado
    rotulo_coeficiente.config(text=f"O método de dimensionamento será
baseado no {coeficiente}")
```

In []:

```
# cria um rótulo para o coeficiente selecionado
rotulo_coeficiente = tk.Label(root)
```

```
rotulo_coeficiente.pack()
```

In []:

```
# Cria um botão para seleção do coeficiente
bt1 = tk.Button(root, text='Seleção de coeficiente', command=lambda:
selecao_coeficiente())
bt1.pack()
```

Inserção de variáveis

In []:

```
# Cria quatro labels e entradas para o usuário inserir os dados
label_latitude = tk.Label(root, text='Insira a latitude (Ex. -7.14):')
label_latitude.pack()
entrada_latitude = tk.Entry(root)
entrada_latitude.pack()
```

```
label_longitude = tk.Label(root, text='Insira a longitude (Ex. -
35.4):')
label_longitude.pack()
entrada_longitude = tk.Entry(root)
entrada_longitude.pack()
```

```
label_area = tk.Label(root, text='Insira a área de captação em m2')
label_area.pack()
entrada_area = tk.Entry(root)
entrada_area.pack()
```

```
label_demanda = tk.Label(root, text='Insira a demanda de água em
L/dia:')
label_demanda.pack()
entrada_demanda = tk.Entry(root)
entrada_demanda.pack()
```

In []:

```
#Função para dimensionamento dos reservatórios no ponto e variáveis
desejadas
def Calculo_reserv():

    # Seleciona o ponto de análise
    lat = float(entrada_latitude.get())
    long = float(entrada_longitude.get())

    # Abre o arquivo NetCDF
    path =
'C:/Users/cinth/OneDrive/Doutorado/Doutorado/Tese/scripts/Arquivos_coef
ficientes/'
    arquivo = xr.open_mfdataset(path+'prec_daily_UT_Brazil_v2.2*.nc',
combine='by_coords')
    # Obtém o coeficiente selecionado pelo usuário
    coeficiente = coeficiente_selecionado.get()
    #Verifica se o ponto pertence ao território brasileiro
    if lat >= arquivo.coords['latitude'].min() and lat <=
arquivo.coords['latitude'].max() and long >=
arquivo.coords['longitude'].min() and long <=
arquivo.coords['longitude'].max():
        ponto_selecionado = arquivo.sel(latitude=lat, longitude=long,
method='nearest')['prec'] #seleção
```



```

#Transformando em lista
ponto_escolhido_valores = ponto_selecionado.values.tolist()

#Leitura das variáveis
area = float(entrada_area.get())
demanda = float(entrada_demanda.get())/1000

#Dimensionamento dos reservatórios e cálculo dos volumes de
água aproveitáveis num ciclo anual médio

#Rippl com dados diários
#Verificação da condição de dimensionamento
entrada = (ponto_selecionado/1000)*0.8*area #m³
entrada_total = entrada.sum(dim='time')
demanda_total = demanda*13515
condicao = entrada_total-demanda_total #>0 sobra água, então
armazena o déficit/<0 falta água, então armazena o maior saldo.

#Balanço Hídrico Volume do reservatório

if condicao<0:
    acumulo=0
    vresRD=0
#Para Demanda>Entrada
    for i in pd.Series(np.arange(0,13515,1)):
        oferta = ponto_escolhido_valores[i]
        acumulo = (acumulo + oferta*area*0.0008 - demanda)
        if acumulo>0:
            acumulo=acumulo
        else:
            acumulo=0
        if acumulo>vresRD:
            vresRD=acumulo
        else:
            vresRD=vresRD

else:
    #Para Entrada>Demanda
    acumulo=0
    vresRD=0
    for i in pd.Series(np.arange(0,13515,1)):
        oferta = ponto_escolhido_valores[i]
        acumulo = (acumulo + demanda - oferta*area*0.0008)
        if acumulo>0:
            acumulo=acumulo
        else:
            acumulo=0
        if acumulo>vresRD:
            vresRD=acumulo
        else:
            vresRD=vresRD
#Balanço hídrico cálculo do volume de água aproveitável
volume_reservado = 0
volume_transb_total = 0
for i in pd.Series(np.arange(0,13515,1)):
    volume_saldo= (ponto_escolhido_valores[i]*area*0.8/1000)-
demanda

```

```

volume_livre = vresRD - volume_reservado
volume_reservado = volume_saldo+volume_reservado
if volume_reservado<vresRD:
    volume_reservado=volume_reservado
else:
    volume_reservado=vresRD
if volume_reservado>0:
    volume_reservado=volume_reservado
else:
    volume_reservado=0
volume_transb = volume_saldo - volume_livre
if volume_transb>0:
    volume_transb=volume_transb
else:
    volume_transb=0
volume_transb_total = volume_transb_total+ volume_transb

volume_aprov_anualRD =
float(((ponto_selecionado.sum(dim='time')*area*0.8/1000)-
volume_transb_total)/37)

#Rippl com dados mensais
#Determinação da precipitação média mensal em m³ para cada ano
demanda_dia_a_dia = (demanda + ponto_selecionado) -
ponto_selecionado
precipitation_monthly =
(ponto_selecionado.groupby('time.month').sum('time'))/37 #precipitação
média mensal
demanda_mensal =
(demanda_dia_a_dia.groupby('time.month').sum('time'))/37 #demanda
mensal

#Verificação da condição de dimensionamento
entrada_mensal = ((precipitation_monthly/1000)*0.8*area)
entrada_total = entrada_mensal.sum(dim='month')
demanda_total = demanda_mensal.sum(dim='month')
condicao = entrada_total-demanda_total #>0 sobra água, então
armazena o déficit/<0 falta água, então armazena o maior saldo.

#Transformando em lista
precipitation_monthly_valores =
precipitation_monthly.values.tolist()
demanda_valores = demanda_mensal.values.tolist()

#Dimensionamento do reservatório
acumulo=0
vresRM=0
if condicao<0:
#Para Demanda>Entrada
oferta = precipitation_monthly_valores
demanda_mensal = demanda_valores
for i in pd.Series(np.arange(0,12,1)):
    acumulo = (acumulo + oferta[i]*area*0.0008 -
demanda_mensal[i])
    if acumulo>0:
        acumulo=acumulo
    else:

```

```

        acumulo=0
        if acumulo>vresRM:
            vresRM=acumulo
        else:
            vresRM=vresRM

    else:
        #Para Entrada>Demanda
        oferta = precipitation_monthly_valores
        demanda_mensal = demanda_valores
        for i in pd.Series(np.arange(0,12,1)):
            acumulo = (acumulo + demanda_mensal[i] -
oferta[i]*area*0.0008)
            if acumulo>0:
                acumulo=acumulo
            else:
                acumulo=0
            if acumulo>vresRM:
                vresRM=acumulo
            else:
                vresRM=vresRM
        #Balanço hídrico cálculo do volume de água aproveitável
        volume_reservado = 0
        volume_transb_total = 0
        for i in pd.Series(np.arange(0,13515,1)):
            volume_saldo= (ponto_escolhido_valores[i]*area*0.8/1000) -
demanda
            volume_livre = vresRM - volume_reservado
            volume_reservado = volume_saldo+volume_reservado
            if volume_reservado<vresRM:
                volume_reservado=volume_reservado
            else:
                volume_reservado=vresRM
            if volume_reservado>0:
                volume_reservado=volume_reservado
            else:
                volume_reservado=0
            volume_transb = volume_saldo - volume_livre
            if volume_transb>0:
                volume_transb=volume_transb
            else:
                volume_transb=0
            volume_transb_total = volume_transb_total+ volume_transb

        volume_aprov_anualRM =
float(((ponto_selecionado.sum(dim='time')*area*0.8/1000)-
volume_transb_total)/37)

        #Azevedo Neto 210mm

        #Agrupamento das precipitações
        precipitation_anual =
ponto_selecionado.groupby('time.year').sum('time') #agrupamento da
precipitação anual em mm
        precipitation_media_anual =
(precipitation_anual.sum(dim='year'))/37 #precipitação média anual
em mm

```

```

precipitation_media_mensal =
ponto_selecionado.groupby('time.month').sum('time')/37  #precipitação
média mensal em mm

#Contabilização dos meses secos
months = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]
for i in months:

meses_secos=precipitation_media_mensal.sel(month=i).where(precipitatio
n_media_mensal<=210,0)
meses_secos=meses_secos.where(meses_secos == 0, 1)  #0 chuvoso
e 1 seco
total_meses_secos = meses_secos.sum(dim='month')

#Cálculo do volume do reservatório
vres_Az2N =
float((0.042*precipitation_media_anual*area*total_meses_secos)/1000)
#cálculo do volume do reservatório em [m³]

#Balanço hídrico cálculo do volume de água aproveitável
volume_reservado = 0
volume_transb_total = 0
for i in pd.Series(np.arange(0,13515,1)):
    volume_saldo= (ponto_escolhido_valores[i]*area*0.8/1000)-
demanda
    volume_livre = vres_Az2N - volume_reservado
    volume_reservado = volume_saldo+volume_reservado
    if volume_reservado<vres_Az2N:
        volume_reservado=volume_reservado
    else:
        volume_reservado=vres_Az2N
    if volume_reservado>0:
        volume_reservado=volume_reservado
    else:
        volume_reservado=0
    volume_transb = volume_saldo - volume_livre
    if volume_transb>0:
        volume_transb=volume_transb
    else:
        volume_transb=0
    volume_transb_total = volume_transb_total+ volume_transb

volume_aprov_anualAz2N =
float(((ponto_selecionado.sum(dim='time')*area*0.8/1000)-
volume_transb_total)/37)

#Azevedo Neto var

#Agrupamento das precipitações
precipitation_anual =
ponto_selecionado.groupby('time.year').sum('time') #agrupamento da
precipitação anual em mm
precipitation_media_anual =
(precipitation_anual.sum(dim='year'))/37  #precipitação média anual
em mm

```

```

precipitation_media_mensal =
ponto_selecionado.groupby('time.month').sum('time')/37 #precipitação
média mensal em mm
precipitation_media_do_mes= (precipitation_media_anual)/12
#precipitação média de cada mês no ano em mm

#Contabilização dos meses secos
months = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]
for i in months:

meses_secos=precipitation_media_mensal.sel(month=i).where(precipitatio
n_media_mensal<0.8*precipitation_media_do_mes,0)
meses_secos=meses_secos.where(meses_secos == 0, 1) #0 chuvoso
e 1 seco
total_meses_secos = meses_secos.sum(dim='month')

#Cálculo do volume do reservatório
vres_AzN =
float((0.042*precipitation_media_anual*area*total_meses_secos)/1000)
#cálculo do volume do reservatório em [m³]

#Balanço hídrico cálculo do volume de água aproveitável
volume_reservado = 0
volume_transb_total = 0
for i in pd.Series(np.arange(0,13515,1)):
    volume_saldo= (ponto_escolhido_valores[i]*area*0.8/1000)-
demanda
    volume_livre = vres_AzN - volume_reservado
    volume_reservado = volume_saldo+volume_reservado
    if volume_reservado<vres_AzN:
        volume_reservado=volume_reservado
    else:
        volume_reservado=vres_AzN
    if volume_reservado>0:
        volume_reservado=volume_reservado
    else:
        volume_reservado=0
    volume_transb = volume_saldo - volume_livre
    if volume_transb>0:
        volume_transb=volume_transb
    else:
        volume_transb=0
    volume_transb_total = volume_transb_total+ volume_transb

volume_aprov_anualAzN =
float(((ponto_selecionado.sum(dim='time')*area*0.8/1000)-
volume_transb_total)/37)

#Prático Inglês
#Agrupamento das precipitações
precipitation_group =
ponto_selecionado.groupby('time.year').sum('time') #agrupamento da
precipitação anual em mm
precipitation_group = (precipitation_group.sum(dim='year'))/37
#precipitação média anual em mm

#Cálculo do volume do reservatório

```

```

vres_Ing = float((0.05*area*precipitation_group)/1000)

#Balanço hídrico cálculo do volume de água aproveitável
volume_reservado = 0
volume_transb_total = 0
for i in pd.Series(np.arange(0,13515,1)):
    volume_saldo= (ponto_escolhido_valores[i]*area*0.8/1000) -
demanda
    volume_livre = vres_Ing - volume_reservado
    volume_reservado = volume_saldo+volume_reservado
    if volume_reservado<vres_Ing:
        volume_reservado=volume_reservado
    else:
        volume_reservado=vres_Ing
    if volume_reservado>0:
        volume_reservado=volume_reservado
    else:
        volume_reservado=0
    volume_transb = volume_saldo - volume_livre
    if volume_transb>0:
        volume_transb=volume_transb
    else:
        volume_transb=0
    volume_transb_total = volume_transb_total+ volume_transb

volume_aprov_anualIng =
float(((ponto_selecionado.sum(dim='time')*area*0.8/1000)-
volume_transb_total)/37)

#Cálculo coeficientes

if coeficiente=='CEV':
    #CEV de cada método
    CEV_RD = round(volume_aprov_anualRD/vresRD,3)
    CEV_Az2N = round(volume_aprov_anualAz2N/vres_Az2N,3)
    CEV_AzN = round(volume_aprov_anualAzN/vres_AzN,3)
    CEV_Ing = round(volume_aprov_anualIng/vres_Ing,3)
    if vresRM == 0:
        CEV_RM = 0
    else:
        CEV_RM = round(volume_aprov_anualRM/vresRM,3)

    #CEV Ótimo
    CEV_otimo = max(CEV_RD, CEV_RM, CEV_Az2N, CEV_AzN,
CEV_Ing)
    if CEV_otimo == CEV_RD:
        metodo = 'Rippl com dados em base diária'
        vres = vresRD
        vaprov = volume_aprov_anualRD
    elif CEV_otimo == CEV_RM:
        metodo = 'Rippl com dados em base mensal'
        vres = vresRM
        vaprov = volume_aprov_anualRM
    elif CEV_otimo == CEV_Az2N:
        metodo = 'Azevedo Neto, para precipitação média mensal
do mês seco inferior a 210mm'
        vres = vres_Az2N

```



```

        vaprov = volume_aprov_anualAz2N
    elif CEV_otimo == CEV_AzN:
        metodo = 'Azevedo Neto, para precipitação média mensal
do mês seco inferior a 80% da precipitação média do mês'
        vres = vres_AzN
        vaprov = volume_aprov_anualAzN
    else:
        metodo = 'prático Inglês'
        vres = vres_Ing
        vaprov = volume_aprov_anualIng

    rotulo_coeficiente_otimo.config(text=f"O CEV máximo é de
{str(CEV_otimo)} m³/m³ e foi obtido pelo método {metodo}")
    rotulo_vres.config(text=f"O volume do reservatório é de
{str(round(vres,3))} m³")
    rotulo_vaprov.config(text=f"O volume de água aproveitável
médio num ciclo anual é de {str(round(vaprov,3))} m³")

    elif coeficiente == 'COV':
        #COV de cada método
        COV_RD = round((vresRD*365.27027-
volume_aprov_anualRD)/vresRD,3)
        COV_Az2N = round((vres_Az2N*365.27027-
volume_aprov_anualAz2N)/vres_Az2N,3)
        COV_AzN = round((vres_AzN*365.27027-
volume_aprov_anualAzN)/vres_AzN,3)
        COV_Ing = round((vres_Ing*365.27027-
volume_aprov_anualIng)/vres_Ing,3)
        if vresRM == 0:
            COV_RM = 0
            COV_otimo = min(COV_RD, COV_Az2N, COV_AzN, COV_Ing)
        else:
            COV_RM = round((vresRM*365.27027-
volume_aprov_anualRM)/vresRM,3)
            COV_otimo = min(COV_RD, COV_RM, COV_Az2N, COV_AzN,
COV_Ing)

    if COV_otimo == COV_RD:
        metodo = 'Rippl com dados em base diária'
        vres = vresRD
        vaprov = volume_aprov_anualRD
    elif COV_otimo == COV_RM:
        metodo = 'Rippl com dados em base mensal'
        vres = vresRM
        vaprov = volume_aprov_anualRM
    elif COV_otimo == COV_Az2N:
        metodo = 'Azevedo Neto, para precipitação média mensal
do mês seco inferior a 210mm'
        vres = vres_Az2N
        vaprov = volume_aprov_anualAz2N
    elif COV_otimo == COV_AzN:
        metodo = 'Azevedo Neto, para precipitação média mensal
do mês seco inferior a 80% da precipitação média do mês'
        vres = vres_AzN
        vaprov = volume_aprov_anualAzN
    else:
        metodo = 'prático Inglês'

```

```

vres = vres_Ing
vaprov = volume_aprov_anualIng

rotulo_coeficiente_otimo.config(text=f"O COV mínimo é de
{str(COV_otimo)} m³/m³ e foi obtido pelo método {metodo}")
rotulo_vres.config(text=f"O volume do reservatório é de
{str(round(vres,3))} m³")
rotulo_vaprov.config(text=f"O volume de água aproveitável
médio num ciclo anual é de {str(round(vaprov,3))} m³")
else:
    #CTV de cada método
    entrada = sum(ponto_escolhido_valores)*area*0.0008
    CTV_Az2N = round(((entrada/37)-
volume_aprov_anualAz2N)/vres_Az2N,3)
    CTV_AzN = round(((entrada/37)-
volume_aprov_anualAzN)/vres_AzN,3)
    CTV_Ing = round(((entrada/37)-
volume_aprov_anualIng)/vres_Ing,3)
    CTV_RD = round(((entrada/37)-
volume_aprov_anualRD)/vresRD,3)
    if vresRM==0:
        CTV_RM=0
    else:
        CTV_RM = round(float(((entrada/37)-
volume_aprov_anualRM)/vresRM),3)

    lista_CTV = [CTV_RD, CTV_RM, CTV_Az2N, CTV_AzN, CTV_Ing]
    valores_positivos = list(filter(lambda x: x > 0,
lista_CTV))
    CTV_otimo = min(valores_positivos)

#         if vresRM == 0:
#             COV_RM = 0
#             COV_otimo = min(COV_RD, COV_Az2N, COV_AzN, COV_Ing)
#         else:
#             COV_RM = round((vresRM*365.27027-
volume_aprov_anualRM)/vresRM,3)
#             COV_otimo = min(COV_RD, COV_RM, COV_Az2N, COV_AzN,
COV_Ing)

if CTV_otimo == CTV_RD:
    metodo = 'Rippl com dados em base diária'
    vres = vresRD
    vaprov = volume_aprov_anualRD
elif CTV_otimo == CTV_RM:
    metodo = 'Rippl com dados em base mensal'
    vres = vresRM
    vaprov = volume_aprov_anualRM
elif CTV_otimo == CTV_Az2N:
    metodo = 'Azevedo Neto, para precipitação média mensal
do mês seco inferior a 210mm'
    vres = vres_Az2N
    vaprov = volume_aprov_anualAz2N
elif CTV_otimo == CTV_AzN:
    metodo = 'Azevedo Neto, para precipitação média mensal
do mês seco inferior a 80% da precipitação média do mês'
    vres = vres_AzN

```

```

        vaprov = volume_aprov_anualAzN
    else:
        metodo = 'prático Inglês'
        vres = vres_Ing
        vaprov = volume_aprov_anualIng

        rotulo_coeficiente_otimo.config(text=f"O CTV mínimo é de
{str(CTV_otimo)} m³/m³ e foi obtido pelo método {metodo}")
        rotulo_vres.config(text=f"O volume do reservatório é de
{str(round(vres,3))} m³")
        rotulo_vaprov.config(text=f"O volume de água aproveitável
médio num ciclo anual é de {str(round(vaprov,3))} m³")
    else:
        rotulo_ERRO.config(text=f"As coordenadas fornecidas não
correspondem a um ponto válido no território brasileiro")
# Fecha o arquivo NetCDF
    arquivo.close()

# Cria um botão para seleção do ponto
bt2 = tk.Button(root, text='Cálculo', command=lambda:
Calculo_reserv())
bt2.pack()

# cria os rótulos
rotulo_coeficiente_otimo = tk.Label(root)
rotulo_coeficiente_otimo.pack()
rotulo_vres = tk.Label(root)
rotulo_vres.pack()
rotulo_vaprov = tk.Label(root)
rotulo_vaprov.pack()
rotulo_ERRO = tk.Label(root)
rotulo_ERRO.pack()

def limpar_resposta():
    rotulo_coeficiente.config(text='')
    rotulo_coeficiente_otimo.config(text='')
    rotulo_vres.config(text='')
    rotulo_vaprov.config(text='')
    rotulo_ERRO.config(text='')

# Crie um botão que chama a função limpar_resposta
bt3 = tk.Button(root, text='Limpar', command=limpar_resposta)
bt3.pack()

# Inicia a janela principal
root.mainloop()

```

In []:

In []:

In []:

In []:

In []:

APÊNDICE C

Tabela	Página
1. Cenários admitidos	199

Cenário	Métodos de dimensionamentos	Áreas de captação (m²)	Coefficiente de escoamento superficial	Consumo de água não potável em uma unidade consumidora (L/dia)
1	<i>Rippl</i> – dados em base diária	50	0,8	100
2		100		
3		150		
4		200		
5		50		200
6		100		
7		150		
8		200		
9		50		300
10		100		
11		150		
12		200		
13		50		400
14		100		
15		150		
16		200		
17		50		500
18		100		
19		150		
20		200		
21		50		600
22		100		
23		150		
24		200		
25		50		100
26		100		
27		150		

28	Rippl – dados em base mensal	200	0,8	200
29		50		
30		100		
31		150		
32		200		
33		50		300
34		100		
35		150		
36		200		
37		50		
38		100		400
39		150		
40		200		
41		50		
42		100		
43		150		500
44		200		
45		50		
46		100		
47		150		
48	200	600		
49	50			
50	100	100		
51	150			
52	200			
53	50			
54	100			
55	150	200		
56	200			
57	50			
58	100			
59	150			
60	200	300		

61		50		400
62		100		
63		150		
64		200		
65		50		500
66		100		
67		150		
68		200		
69		50		600
70		100		
71		150		
72		200		
73	Método prático Azevedo Neto (210mm)	50	0,8	100
74		100		
75		150		
76		200		
77		50		200
78		100		
79		150		
80		200		
81		50		300
82		100		
83		150		
84		200		
85		50		400
86		100		
87		150		
88		200		
89		50		500
90		100		
91		150		
92		200		
93		50		600

94		100		
95		150		
96		200		
97	Método prático Azevedo Neto var	50	0,8	100
98		100		
99		150		
100		200		
101		50		200
102		100		
103		150		
104		200		
105		50		300
106		100		
107		150		
108		200		
109		50		400
110		100		
111		150		
112		200		
113		50		500
114		100		
115		150		
116		200		
117		50		600
118		100		
119		150		
120		200		