

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ANDRÉ DA SILVA AQUINO

**ANÁLISE DA COBERTURA RBMC PARA TRANSPORTE DE COORDENADAS
GEODÉSICAS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO**

Itaqui-RS

2023

ANDRÉ DA SILVA AQUINO

**ANÁLISE DA COBERTURA RBMC PARA TRANSPORTE DE COORDENADAS
GEODÉSICAS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura .

Orientador: Marcelo Jorge de oliveira

Coorientador: Leydimere Janny Cota
Oliveira

Itaqui-RS

2023

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

A657a Aquino, André

ANÁLISE DA COBERTURA RBMC PARA TRANSPORTE DE COORDENADAS GEODÉSICAS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO / André Aquino.

54 p.

Orientador: Marcelo Jorge de oliveira
Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)- Universidade Federal do Pampa,
ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA, 2023.

1. Técnicas de posicionamento. 2. Sistema de Informação Geográfico. I.
Título..

ANDRÉ DA SILVA AQUINO

**ANÁLISE DA COBERTURA RBMC PARA TRANSPORTE DE COORDENADAS
GEODÉSICAS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 12 de Agosto de 2023.

Banca examinadora:

Prof. (Mestre). (Marcelo Jorge de oliveira)
Orientador
(UNIPAMPA)

Prof. (Dr^a). (Leydimere Janny Cota Oliveira)
(UNIPAMPA)

Prof. (Dr). (Rolando Larico Mamani)
(UNIPAMPA)

Dedico este trabalho a mim mesmo

“A imaginação muitas vezes nos leva a mundos que nunca sequer existiram. Mas sem ela não vamos a lugar algum.”

Carl Sagan

RESUMO

O presente estudo analisa a distribuição das redes de monitoramento contínuo no território brasileiro, entre os escolhidos temos o Brasil, onde foram analisados todos os estados, a partir dos dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em seu site oficial. A área de estudo é toda a extensão do território nacional. O objetivo é analisar a distribuição, o recobrimento espacial da área de cobertura em linhas de base, analisar áreas em que o processamento de dados só pode ser feito por Posicionamento de Ponto Preciso (PPP) e identificar locais onde demandam de novas estações. Foram utilizadas técnicas de de Sistema de Informações Geográficas (SIG), para processamento e modelagem dos dados. O estudo aponta a importância da distribuição espacial das estações GNSS, e a necessidade de expansão.

Palavras-Chave: GNSS. IBGE. Estações. Bases. Redes. RBMC. Sirgas.

ABSTRACT

The present study analyzes the distribution of continuous monitoring networks in the Brazilian territory, among the chosen ones we have Brazil, where all states were analyzed, based on data provided by the Brazilian *Institute of Geography and Statistics* (IBGE), on its official website. The study area is the entire extension of the national territory. The objective is to analyze the distribution, the spatial coverage of the coverage area in baselines, analyze areas where data processing can only be done by *Precise Point Positioning* (PPP) and identify places where new stations are required. Geographic Information System (GIS) techniques were used for data processing and modeling. The study points to the importance of the spatial distribution of GNSS stations, and the need for expansion."

Keywords: GNSS. IBGE. station. Bases. Redes. RBMC. Sirgas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição das estações da RBMC instaladas até o final de 1996.....	20
Figura 2 – Distribuição das estações da RBMC instaladas até o final de 2008.....	21
Figura 3 – Distribuição das estações da RBMC instaladas até o final de 2021.....	22
Figura 4 – Posicionamento relativo.....	25
Figura 5 – Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica.....	26
Figura 6 – Distribuição da RBMC no território brasileiro no ano de 2023	30
Figura 7 – Mapa da cobertura das RBMC com raio de 100 km.....	32
Figura 8 – Mapa da cobertura das RBMC com raio de 100 km e intercessões com duas ou mais estações.....	34
Figura 9 – Mapa da área sem cobertura das RBMC.....	36
Figura 10 – Mapa da área de cobertura das RBMC com raio de 200 km.....	38
Figura 11 – Mapa da área de cobertura das RBMC com raio de 200 km e intercessões com duas ou mais estações.....	40
Figura 12 – Mapa da área sem cobertura das RBMC.....	41
Figura 13 – Mapa da área de cobertura das RBMC com raio de 300 km.....	43
Figura 14 – Mapa da área de cobertura das RBMC com raio de 300 km.....	45
Figura 15 – Mapa da área sem cobertura das RBMC.....	46
Figura 16 – Mapa das áreas escolhidas para instalação de novas RBMC.....	48
Figura 17 – Mapa com novas áreas identificadas com buffer de 300 km.....	50
Figura 18 – Mapa da área de cobertura das novas RBMC com raio de 300 km e intercessões com duas ou mais estações.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Precisão do posicionamento relativo em função do tempo de observação, equipamento utilizado e comprimento da linha de base.....	25
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

GPS – Global Positioning System

IGS – International GNSS Service

km – quilômetros

LISTA DE SIGLAS

GPS - *Global Positioning System*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

GNSS -*Global Navigation Satellite System*

PPP- Posicionamento por Ponto Preciso

ITRF- International Terrestrial Reference Frame

IGS - *International GPS Service for Geodynamics*

SIG - Sistema de Informação Geográfica

QGIS - Quantum GIS

GLONASS - *Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*

UTM - *Universal Transversa de Mercator*

KM - Quilômetros

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVO	
2.1	Objetivo geral.....	16
2.2	Objetivo específico.....	16
3	CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	
3.1	RBMC.....	17
3.2	Técnicas de posicionamento.....	23
3.2.1	Posicionamento por ponto preciso (PPP).....	24
3.2.2	Posicionamento relativo.....	24
3.3	Sistema de Informação Geográfica.....	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS	
4.1	Materiais.....	27
3.1.1	Recursos tecnológicos e Hardware.....	27
4.2	Procedimentos metodológicos.....	27
4	APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS	
4.1	Situação atual das RBMC.....	29
4.2	Cobertura das RBMC com raio de 100 km.....	31
4.3	Cobertura das RBMC com raio de 200 km.....	37
4.4	Cobertura das RBMC com raio de 300 km.....	42
4.4	Áreas com demandas de novas RBMC.....	47
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	
6	REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

Com o surgimento e a popularização do Sistema de Posicionamento Global (GPS) entre as décadas de 80 e 90, muitas instituições iniciaram sua utilização em atividades geodésicas.

Acompanhando esta tendência, no ano de 1991 o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), iniciou o emprego do GPS em suas atividades de levantamento geodésico (IBGE, 2011). Nesse mesmo ano, a fundação iniciou as discussões e o desenvolvimento do projeto para estabelecimento da RBMC, denominada na época como Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS, que é a rede de monitoramento contínuo mais importante do país.

As estações da RBMC são equipadas com receptores GPS de dupla frequência que coletam continuamente as observáveis GPS, sendo esta rede, a principal ligação com redes internacionais e com os sistemas de referência adotados globalmente. Desde então, a RBMC dos Sistemas de Navegação Global por Satélites (GNSS) passou a ocupar uma posição de destaque, sendo a principal estrutura geodésica de referência do SIRGAS 2000 (IBGE, 2021).

Em sua configuração inicial, cada estação possuía um receptor GPS (Global Positioning System) e um microcomputador no qual os dados do receptor eram reformatados e transferidos através de uma conexão telefônica para o Centro de Controle (IBGE, 2013)

Ainda de acordo com o IBGE (2013), a partir de 2007, com a densificação e modernização da RBMC, novos modelos de receptores foram incorporados à rede, dispensando a necessidade de um microcomputador na estação e possibilitando o controle e a configuração remotos.

As redes ativas também possibilitaram o monitoramento contínuo das coordenadas das estações da Rede, as quais, considerando-se o seu nível centimétrico de precisão, passaram a revelar informações valiosas sobre a geodinâmica do local onde estão instaladas (IBGE,2021). Esse aspecto viabilizou o desenvolvimento prático da Geodésia de quatro dimensões, sendo a quarta componente, justamente, o tempo de referência das coordenadas. Tais informações são de extrema importância para os sistemas de alerta de terremotos, tsunamis e

erupções vulcânicas que estão sendo implantados em várias partes do mundo (SAEKI, 2015; MELBOURNE et. al., 2021).

Outra forma de processar os dados GNSS para obtenção de coordenadas de referência é através do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP). É um serviço online gratuito para o pós-processamento de dados GNSS (IBGE, 2013). Ainda de acordo com o IBGE (2013), ele permite aos usuários com receptores GPS e/ou GLONASS, obterem coordenadas referenciadas ao SIRGAS 2000 e ao Sistema de Referência Terrestre Internacional (ITRF) através de um processamento preciso.

A RBMC é composta por uma rede de estações GNSS distribuídas pelo território brasileiro que dá apoio aos usuários de sistema de posicionamento por satélites que aplicam a técnica de processamento relativo. Estes processamentos servem ao propósito de cadastros de imóveis rurais, cadastro de imóveis urbanos, além de importantes aplicações científicas relacionadas com o monitoramento ionosférico e com sistemas de altitudes físicas, assim como a geração de bases cartográficas.

Esta última aplicação é reconhecidamente importante para o planejamento do desenvolvimento regional e realização de obras de engenharia. Todos os processamentos relativos são limitados pela distância do ponto da qual a posição se quer determinar até uma estação de referência. Sabendo que a quantidade de estações é insuficiente para suprir as necessidades de todo o território brasileiro, identificar e mapear as áreas que mais demandam essas estações é fundamental para uma futura instalação.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Através de técnicas de Geoprocessamento, será identificada os principais locais que demandam instalação de RBMC a fim de possibilitar que os usuários dos sistemas de posicionamento por satélites possam efetuar as determinações da posição de pontos da superfície da terra com boa acurácia. Além disso, será mapeado áreas que não tem possibilidade de instalação dessas redes e o processamento de dados tem que ser feito por PPP.

2.2 Objetivo Específico

- Identificar e mapear áreas através de Sistema de Informação Georreferenciada onde pode ser implantadas as estações da RBMC para cobertura e transporte de coordenadas
- Identificar locais onde se faz necessário prioritariamente usar o transporte de coordenadas por PPP e não por RBMC.
- Esse trabalho poderá ser usado como base para priorizar locais que mais demandam a instalação das RBMC.

3 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

3.1 RBMC

Para o IBGE, no seu relatório técnico dos quinze anos da RBMC (IBGE, 2011), o surgimento e a popularização do GPS entre as décadas de 80 e 90, muitas instituições iniciaram sua utilização em atividades geodésicas. No entanto, para De Sá (2018), na época, para se obter resultados com qualidade geodésica era preciso a aplicação do posicionamento relativo. Este método de posicionamento requer que sejam realizadas observações em um ou mais marcos de coordenadas conhecidas, que são utilizados como estações de referência, o que causava um inconveniente, pois um ou mais equipamentos eram imobilizados para servirem como estações de referência (IBGE, 2011).

No final do ano de 1996 o IBGE começou a implantar esta idealização de rede no território nacional (IBGE, 2018). Ainda como IBGE (2018), no dia 13 de dezembro foi instalada a primeira estação da rede na cidade de Curitiba/PR, cujo código que identifica a mesma é PARA e no dia 18 do mesmo mês e ano era instalada a estação da cidade de Presidente Prudente/SP (UEPP).

Com a integração das estações das cidades de Brasília/DF (BRAZ) e Fortaleza/CE (FORT), instalada por outras instituições parceiras do IBGE, no final do ano de 1996 a RBMC contava com 4 estações em operação (IBGE, 2011).

As coordenadas das estações da RBMC são outro componente importante na composição dos resultados finais dos levantamentos a ela referenciados. Nesse aspecto, a grande vantagem da RBMC é que todas as suas estações fazem parte da Rede de Referência do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), cujas coordenadas finais têm precisão da ordem de ± 5 mm, configurando-se como uma das redes mais precisas do mundo (IBGE, 2011). Pois de acordo com De Sá (2018), outro papel importante da RBMC é que suas observações vêm contribuindo, desde 1997, para a densificação regional da rede do IGS (International GPS Service for Geodynamics), garantindo uma melhor precisão dos produtos do IGS, tais como órbitas precisas sobre o território brasileiro.

A RBMC é hoje a melhor referência geodésica para o território brasileiro, pois além de ter uma boa distribuição das suas estações, especialmente em áreas mais populosas, apresenta alto nível de precisão (Costa & Fortes, 2000). Por estar

referenciada à rede SIRGAS, e por outras razões já citadas, a RBMC deveria oficialmente substituir a Rede Nacional GPS, facilitando com isso o processo de migração para um sistema de referência geocêntrico (ROMÃO; SILVA, 2002).

Assim como já foi citado por Romão e Silva, (2002), como a distância entre as estações da RBMC ainda são muito grandes, da ordem de algumas centenas de quilômetros em média, ao se implantar uma rede GPS em nível estadual ou municipal, deve-se amarrar os novos pontos a pelo menos duas estações RBMC, quando a precisão desejada assim exigir. À medida que a RBMC, no futuro, for se tornando mais e mais densa, como parece ser meta do IBGE (IBGE, 2000), com estações distanciadas em até 100 km ou menos, principalmente nas áreas mais urbanizadas, pode-se dispensar a implantação de redes estaduais e estabelecer redes municipais, diretamente amarradas à RBMC, pois com o uso de receptores GPS de 2 frequências e um bom tempo de observação, os erros decorrentes do problema das grandes distâncias podem ser reduzidos. (ROMÃO; SILVA, 2002).

A RBMC é extremamente vantajosa para aqueles que fazem uso da técnica de posicionamento relativo e necessitam ocupar simultaneamente uma estação com coordenadas conhecidas para o desenvolvimento dos levantamentos, sejam eles geodésicos ou topográficos (Fortes, 1997). Ela oferece o serviço de estação base (referência), garantindo aos usuários alto nível de precisão nas suas coordenadas, maior produtividade nos levantamentos, o que leva a custos menores, e um período mais curto de observação (dependendo da distância à estação RBMC mais próxima do usuário), considerando a possibilidade de se usar mais de uma estação da RBMC como base, aumentando a rigidez da determinação (COSTA; FONTES, 2000).

Historicamente o posicionamento relativo tem sido aplicado em levantamentos de alta precisão, alcançando níveis milimétricos. Contudo, recentemente, têm-se disponíveis os denominados serviços de PPP online, que vem ganhando destaque na geodésia, em razão da praticidade e bons resultados oferecidos (ALMEIDA; DAL POZ, 2016)

Ainda com Almeida e Dal Poz, (2016), um breve histórico do desenvolvimento do PPP e a análise de seus avanços nas duas últimas décadas, com ênfase em seus potenciais e limitações atuais e possível futura direção do PPP foram objeto de estudo de Grinter & Roberts (2011), concluindo que os avanços em pesquisas

envolvendo o PPP tendem a oferecer uma gama de produtos cada vez melhores, principalmente no que tange à sua precisão.

No relatório técnico do IBGE sobre os quinze anos da RBMC, temos indicação de aplicações da rede brasileira:

- Posicionamento em geral;
- Mapeamento;
- Monitoramento de estruturas de engenharia e geológicas;
- Georreferenciamento em geral, tendo destaque no de imóveis rurais;
- Demarcação de limites e fronteiras;
- Apoio para navegação;
- Agricultura de precisão;
- Locação e implantação de obras;
- Implantação de redes de apoio (locais/topográficas), para mapeamento, obras de engenharia, agricultura de precisão, entre outras aplicações;
- Monitoramento de veículos;
- Materialização/realização e monitoramento de referenciais topográficos e geodésicos;
- Segurança pública;
- Suporte a pesquisas dos seguintes assuntos:
 - Posicionamento em geral;
 - Referenciais geodésicos;
 - Monitoramento e mapeamento da ionosfera;
 - Monitoramento e mapeamento da quantidade de vapor d'água da atmosfera;
- Agricultura de precisão; e
- Outros assuntos.

O IBGE está desenvolvendo todas essas atividades da RBMC em parcerias com companhias, empresas, exército brasileiro, força aérea, fundações, institutos federais e universidades federais, entre outros.

Na Figura 1, é apresentado um mapa demonstrando as primeiras estações RBMC no território nacional instaladas até o final de 1996.

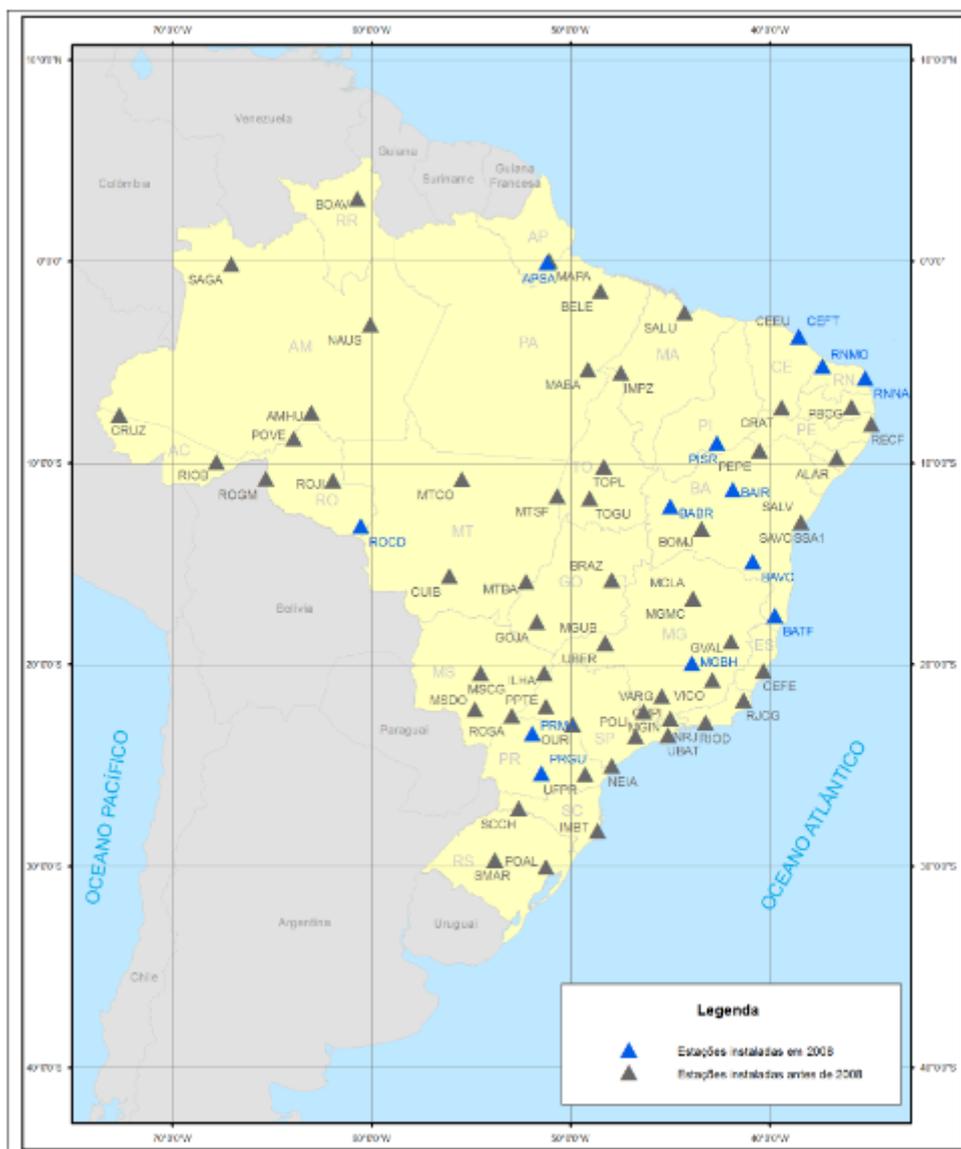
Figura 1 – Distribuição das estações da RBMC instaladas até o final de 1996



Fonte:(IBGE,2011)

Na figura 2, é apresentado um mapa demonstrando as RBMC instaladas até o final de 2008, onde já havia pelo menos uma base funcionando em cada estado do território brasileiro.

Figura 2- Distribuição das estações da RBMC instaladas até o final de 2008



Fonte: (IBGE,2011)

Na figura 3, temos as RBMC que foram instaladas até o final de 2021, nessa imagem também mostra algumas estações que foram desativadas.

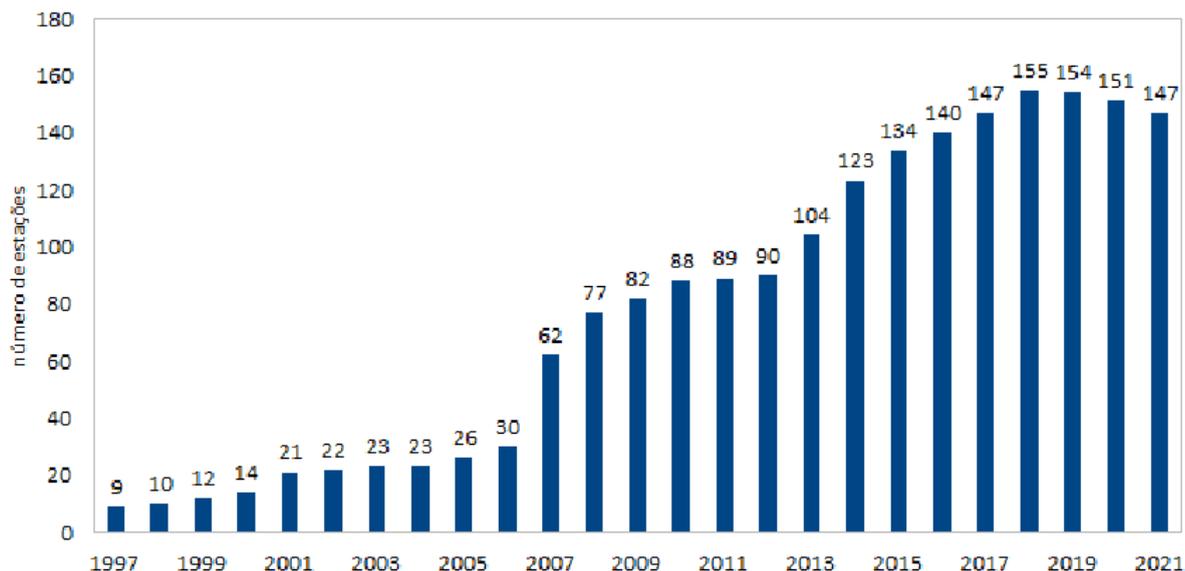
Figura 3- Distribuição das estações da RBMC instaladas até o final de 2021.



Fonte: (IBGE,[s.n])

O gráfico 1 logo abaixo é apresentado para se ter uma maior compreensão do processo de expansão da RBMC desde quando o sistema de referência SIRGAS2000 foi adotado oficialmente no Brasil, em fevereiro de 2005.

Gráfico 1 - Evolução cronológica do número de estações operacionais da RBMC.



Fonte: (IBGE,2021)

segundo o IBGE(2021), as Resoluções n. 01, de 25.02.2005, e n. 04, de 18.04.2012, da Presidência do IBGE, estabelecem que o SIRGAS, em sua realização do ano de 2000 - SIRGAS2000, é o novo sistema geodésico de referência para o Sistema Geodésico Brasileiro(SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN). Ainda de acordo com o autor já citado acima, dessa realização SIRGAS2000, participaram 15 estações da RBMC, assumindo o papel de estrutura geodésica de referência do SIRGAS2000. Desde então, o número de estações vem crescendo de modo significativo, principalmente via parcerias institucionais, chegando, em setembro de 2021, à configuração de 147 estações operacionais (Gráfico 1) e totalizando mais de 190 estações participantes desde o início do seu estabelecimento. Somente nove estações pertencentes à campanha de origem do SIRGAS2000, porém, fazem parte da estrutura atual da RBMC; isso porque as demais foram desativadas ao longo dos anos por motivos diversos (IBGE,2021).

3.2 Técnicas de posicionamento

As técnicas de posicionamento podem ser classificadas como estáticos e

cinemáticos, dependendo do movimento da antena, bem como em tempo real e pós-processado, que está relacionado com a disponibilidade das coordenadas (IBGE,2008). Além destas duas categorias, as técnicas podem ser divididas quanto à metodologia adotada, ou seja, utilizando ou não uma estação de referência, sendo denominadas de posicionamento relativo e posicionamento por ponto.

3.2.1 Posicionamento por ponto preciso (PPP)

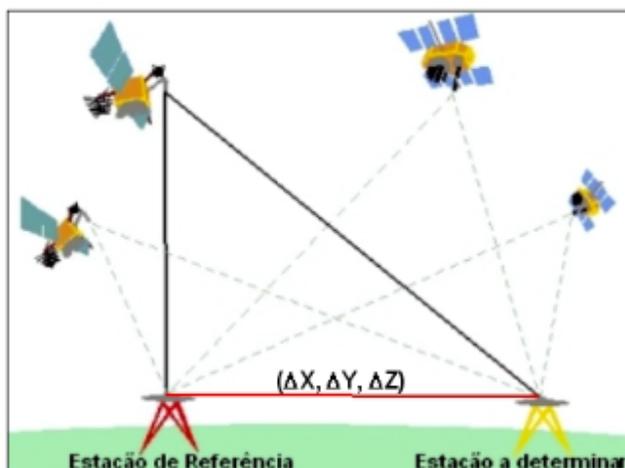
De acordo com o IBGE (2008), esta técnica de posicionamento requer a utilização da pseudodistância e fase das ondas portadoras L1 e L2. Isto possibilita a redução dos efeitos de primeira ordem da ionosfera. Além disso, os efeitos da troposfera devem ser modelados. Os erros de órbita e relógio dos satélites, bem como parâmetros de rotação da Terra, normalmente são adquiridos de fontes externas como, por exemplo, do IGS (International GNSS Service) (IBGE, 2008).

Experimentos conduzidos com dados da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) mostraram que este tipo de posicionamento pode proporcionar precisão melhor que 2 cm (MONICO,2000b)

3.2.2 Posicionamento relativo

No posicionamento relativo, as coordenadas são determinadas em relação a um referencial materializado através de uma ou mais estações com coordenadas conhecidas (IBGE,2008). Neste caso, é necessário que pelo menos dois receptores coletem dados de, no mínimo, dois satélites simultaneamente, onde um dos receptores deve ocupar a estação com coordenadas conhecidas, denominada de estação de referência ou estação base. A Figura 4 mostra o princípio do posicionamento relativo.

Figura 4 - Posicionamento relativo



Fonte: IBGE, 2008)

O princípio básico desta técnica de posicionamento é minimizar as fontes de erro através da diferença entre observações recebidas simultaneamente por receptores que ocupam duas estações (IBGE,2008).

De um modo geral, a Tabela 2 mostra a precisão aproximada do posicionamento relativo com GPS, em função do tipo de equipamento utilizado, tempo de rastreamento das observações, e comprimento das linhas de base.

Tabela 1 - Precisão do posicionamento relativo em função do tempo de observação, equipamento utilizado e comprimento da linha de base

Linha de Base	Tempo de observação	Equipamento Utilizado	Precisão
00 – 05 Km	05 – 10 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
05 – 10 Km	10 – 15 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
10 – 20 Km	10 – 30 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
20 – 50 Km	02 – 03 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm
50 – 100 Km	mínimo. 03 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm
> 100 Km	mínimo. 04 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm

Fonte:IGN – Instituto Geográfico Nacional (Espanña) – Curso GPS en Geodesia y Cartografía

3.3 Sistema de Informação Geográfica

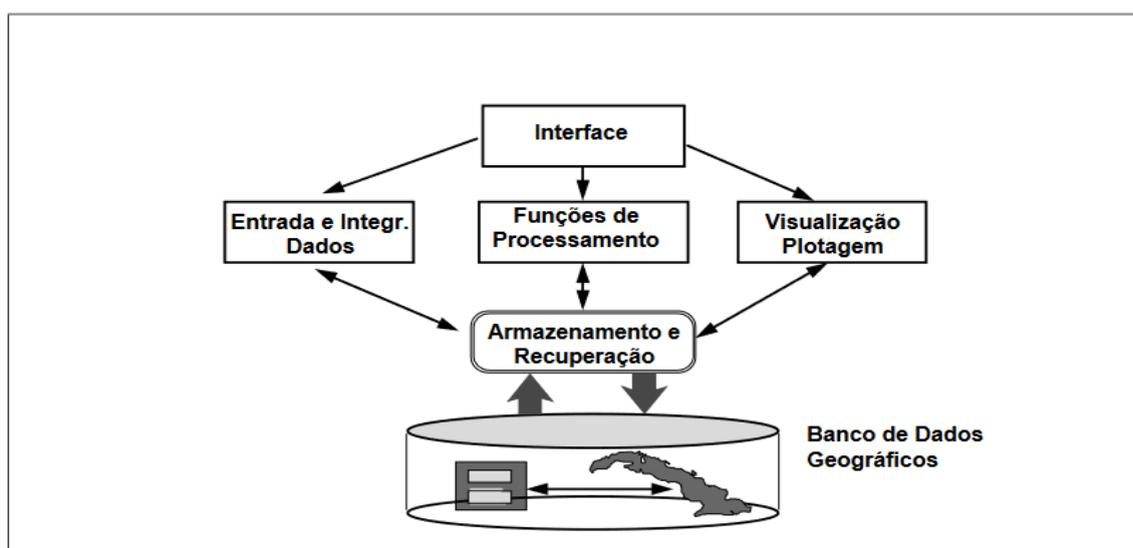
Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma

característica inerente à informação e indispensável para analisá-la (Aronoff, 1989).

De acordo com Câmara et al (1996), sigs comportam diferentes tipos de dados e aplicações, em várias áreas do conhecimento. Exemplos são otimização de tráfego, controle cadastral, gerenciamento de serviços de utilidade pública, demografia, cartografia, administração de recursos naturais, monitoramento costeiro, controle de epidemias, planejamento urbano. ainda de acordo com o autor, a utilização de sigs facilita a integração de dados coletados de fontes heterogêneas, de forma transparente ao usuário final. Os usuários não estão restritos a especialistas em um domínio específico: cientistas, gerentes, técnicos, funcionários de administração de diversos níveis e o público em geral vêm usando tais sistemas com frequência cada vez maior.

O termo *Sistema de informação Geográfica* (SIG), é aplicado para sistemas que utilizam tratamento computacional para dados geográficos e armazenam a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizado na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica (Câmara et al, 1996).

Figura 5- Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica



Fonte: Câmara et al. (1996)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

A seguir serão listados os materiais utilizados neste trabalho:

- Banco de dados geográfico das estações RBMC, fornecidos pelo IBGE;
- Base cartográfica de 1:250.000 em formato *shapefile*, fornecida pelo IBGE;

4.2 Recursos tecnológicos e Hardware

Para elaboração deste trabalho os recursos tecnológicos empregados foram:

- Download do software livre QGIS Desktop 3.28.4 versões português 64bits;
- Software Microsoft Office Excel 2020, para geração de gráficos e tabelas;
- Software ArcGIS, disponibilizado no laboratório de informática da UNIPAMPA
- Foi utilizado computador pessoal para instalação dos software e processamento dos dados

4.3 Procedimentos metodológicos

Foram levantados dados gratuitos dos portal governamental do país, via página dos órgãos responsáveis pelas redes GNSS. No Brasil, o órgão responsável pelo monitoramento da RBMC é o IBGE.

Com posse dos dados em formato KMZ, foram criados shapefiles para as estações com auxílio do software Qgis.

Em seguida, foram obtidos os arquivos vetoriais de todo o território nacional que é nossa área de estudo, os dados foram obtidos no portal do IBGE.

Feito isso, foi analisado e processado por meio das ferramentas de análise espacial do software, a quantidade de estações no território, adicionando através da ferramenta *Buffer* três raios, de 100, 200 e 300 quilômetros, Calculando a área de cobertura das estações para cada raio. com os *Buffers* criados, foram aplicados as intercessões através do software ArcGIS, para analisar as áreas em comum que recebiam cobertura por mais de uma estação da RBMC.

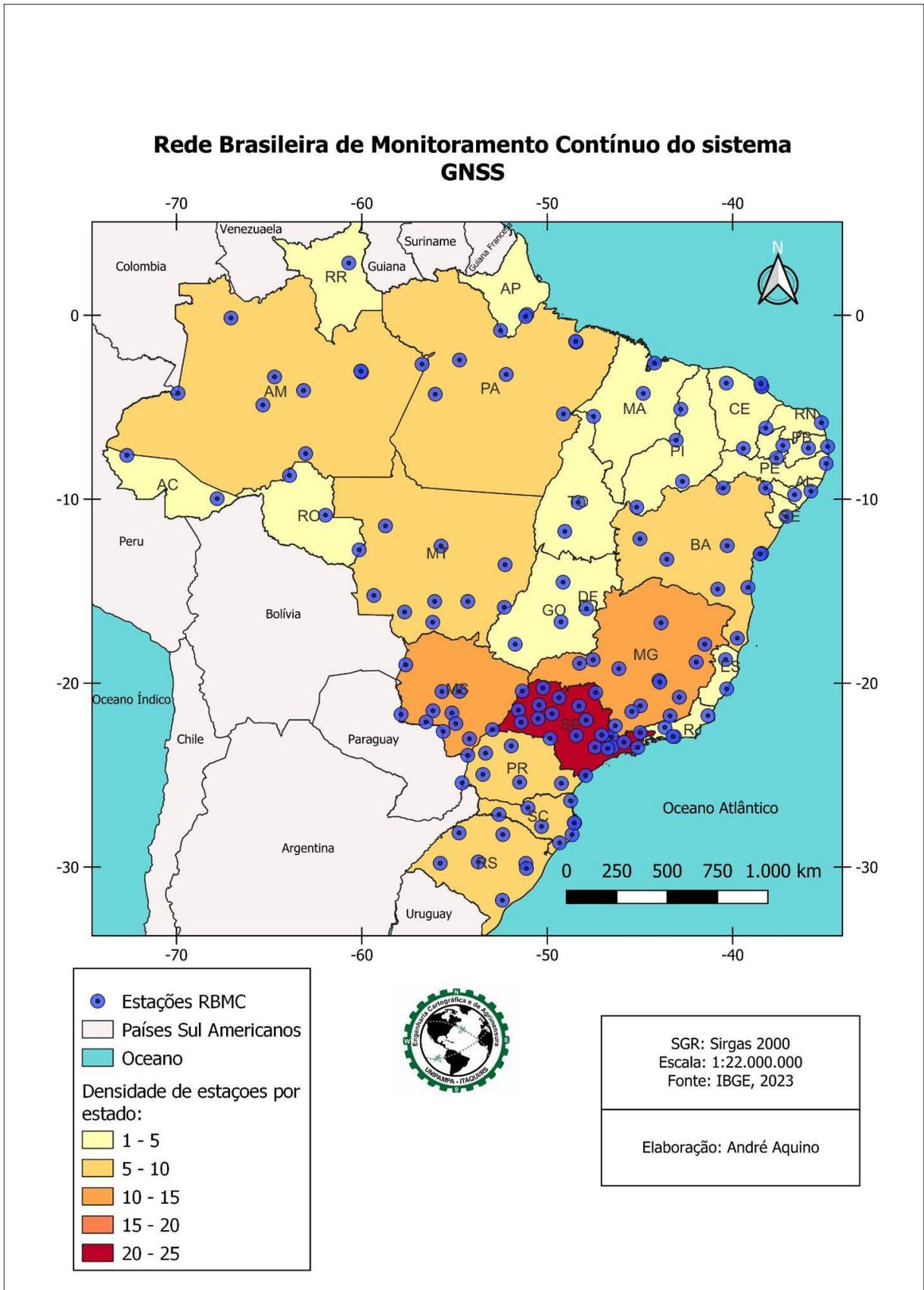
E com esses dados processados, foram geradas classificações temáticas, criando mapas temáticos a respeito das estações da RBMC no país. Finalmente, foram efetuadas as análises finais para cada raio definido a fim de identificar locais para possível instalação de novas RBMC.

4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Situação atual das RBMC

Na figura 6, temos o mapa do Brasil, com todas as estações RBMC ativas no ano de 2023. Foi feita uma classificação de valor absoluto de estações por estado. O com maior número de estações, com cores mais fortes e escuras, e quanto menos estações, cores mais claras.

Figura 6- Distribuição da RBMC no território brasileiro no ano de 2023



Fonte: Autor

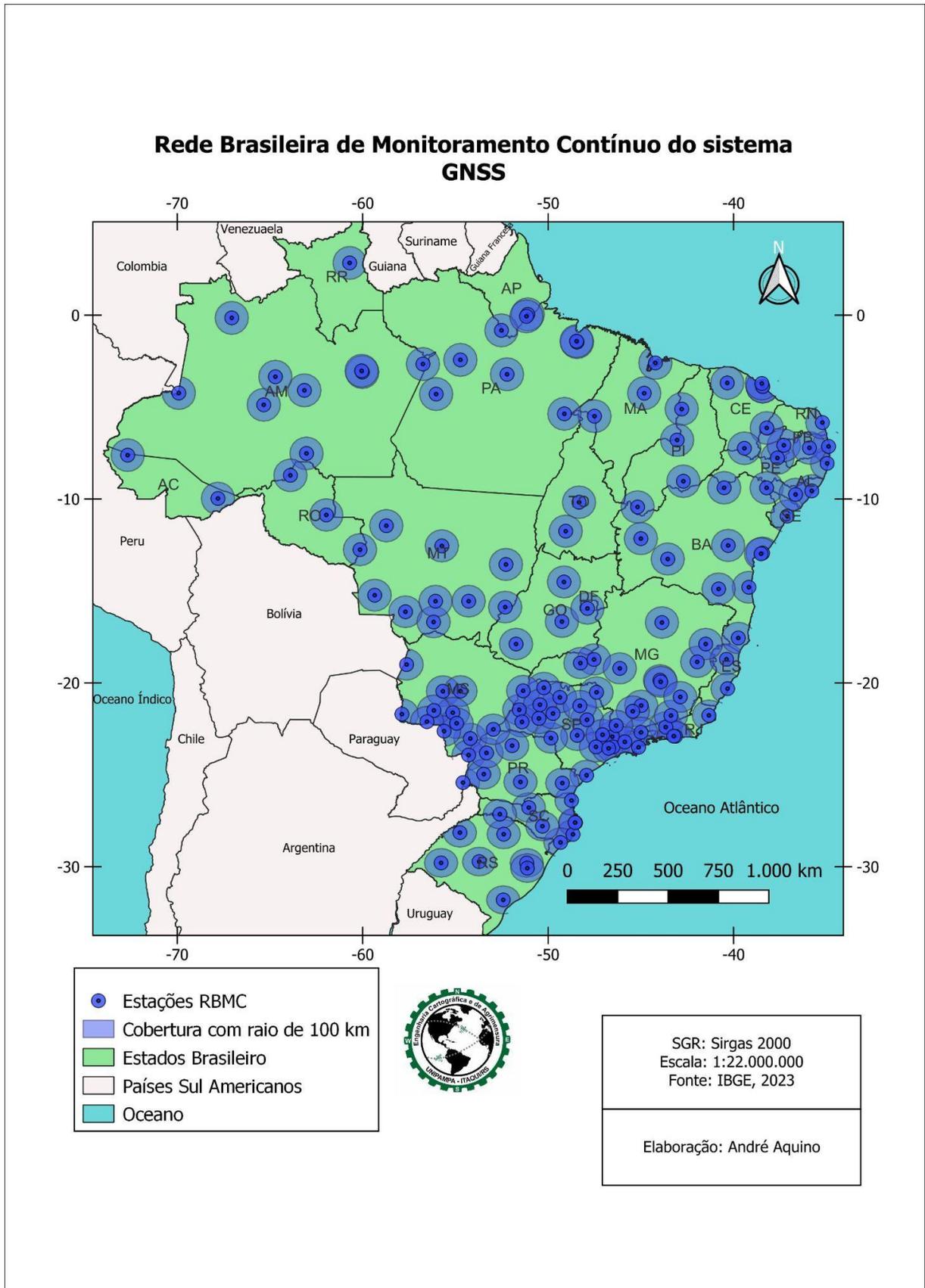
É interessante notar que os estados com maior quantidade de estações, situam-se na região sudeste. A região mais populosa e industrializada do Brasil, logo é uma região densamente edificada, com cidades em um raio curto de distância, o que facilita a instalação e monitoramento dessas redes.

A seguir, foram calculados *Buffers* com raios referentes às distâncias de linha de base de 100 km, 200 km e 300 km. Para se ter uma noção da área de cobertura fornecida pelas estações RBMC no Brasil e dessa forma ser possível identificar as áreas que possam receber novas estações. É importante salientar que os raios adotado com a distância de 300 km já estão sendo tomados como valor crítico, para bons resultados nos processamentos relativos.

4.2 Cobertura das RBMC com raio de 100 km

Na figura 7, foi aplicado um *Buffer* com raio de 100 km para verificar a área de cobertura no País. Onde 100 km é considerado uma distância segura para obter bons resultados nos processamentos relativos, pois é a partir daí que se começa a sentir os efeitos da curvatura da terra.

Figura 7- Mapa da cobertura das RBMC com raio de 100 km

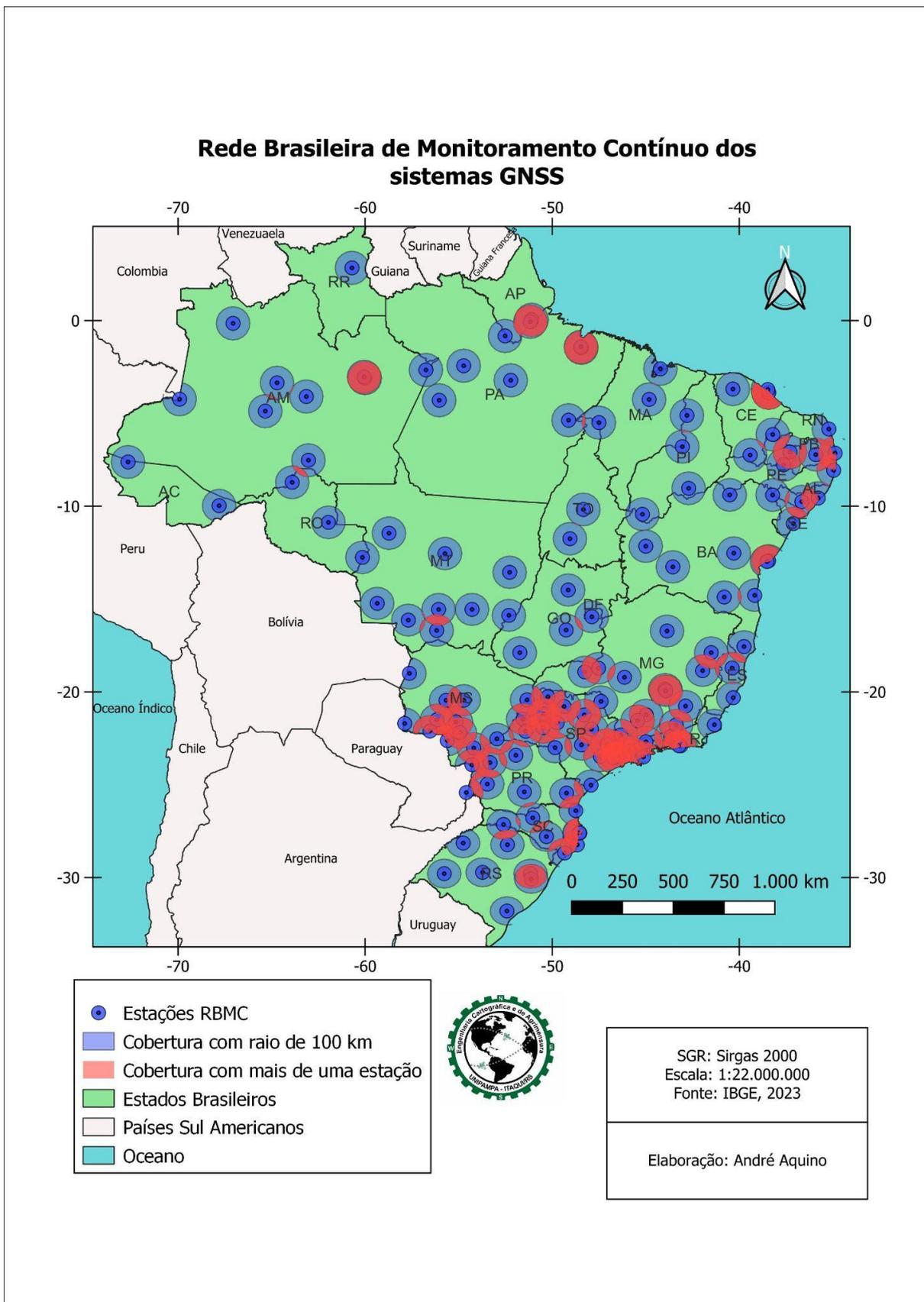


Fonte: Autor

Percebemos que a cobertura de 100 quilômetros, e com a quantidade de estações operantes, não é suficiente para a extensão territorial do Brasil, porém, o estado de São Paulo, assim como o Distrito Federal ficam totalmente coberto com esse valor de alcance.

Na figura 8, é possível identificar as interseções das áreas com coberturas de duas ou mais estações. Onde o estado de São Paulo e Mato Grosso do Sul tem maior quantidade de área coberta por mais de uma estação.

Figura 8- Mapa da cobertura das RBMC com raio de 100 km e intercessões com duas ou mais estações



Fonte: Autor

Levando em consideração que o raio de 100 quilômetros é considerada uma distância segura com obtenção de bons resultados, é notório que grande parte do país, em exceção do estado de São paulo tem um déficit muito alto em relação a densificação das RBMC

É importante frisar, que no processamento de dados pelo método relativo, quando são usadas duas estações de referência a precisão dos dados aumenta consideravelmente enquanto vários erros também são eliminados.

Na figura 8, apresentada acima, além da total cobertura no estado de São Paulo e no Distrito Federal, também podemos perceber que os estados do sul e uma parte do nordeste estão bastante preenchidos.

Em termos de percentuais de área coberta com essa linha de base de 100 (cem) quilômetros, o Distrito Federal aparece em primeiro, com 100% (cem por cento) coberto, em seguida temos o estado de Alagoas com 99,74% com Paraíba, São Paulo e Sergipe em seguida, com respectivamente 94,37% , 92,61% e 91,38%. Os estados que estão em pior situação, com baixos percentuais de cobertura são Roraima, Amazonas, e Pará respectivamente com 13,21%, 15,8% e 15,8%.

Um dado importante que serve para estes fins comparativos é que o Distrito Federal possui uma densidade populacional de 507,46 hab./km². Assim como Paraíba, São Paulo e Sergipe possuem 71,28 hab./km² , 185,42 hab./km² e 100,87 hab./km² . Já os estados mais desprovidos de cobertura (RR, AM, PA) possuem: 2,83 hab./km², 2,53 hab./km², 6,78 hab./km², em média 10 vezes menos densos.

4.3 Cobertura das RBMC com raio de 200 km

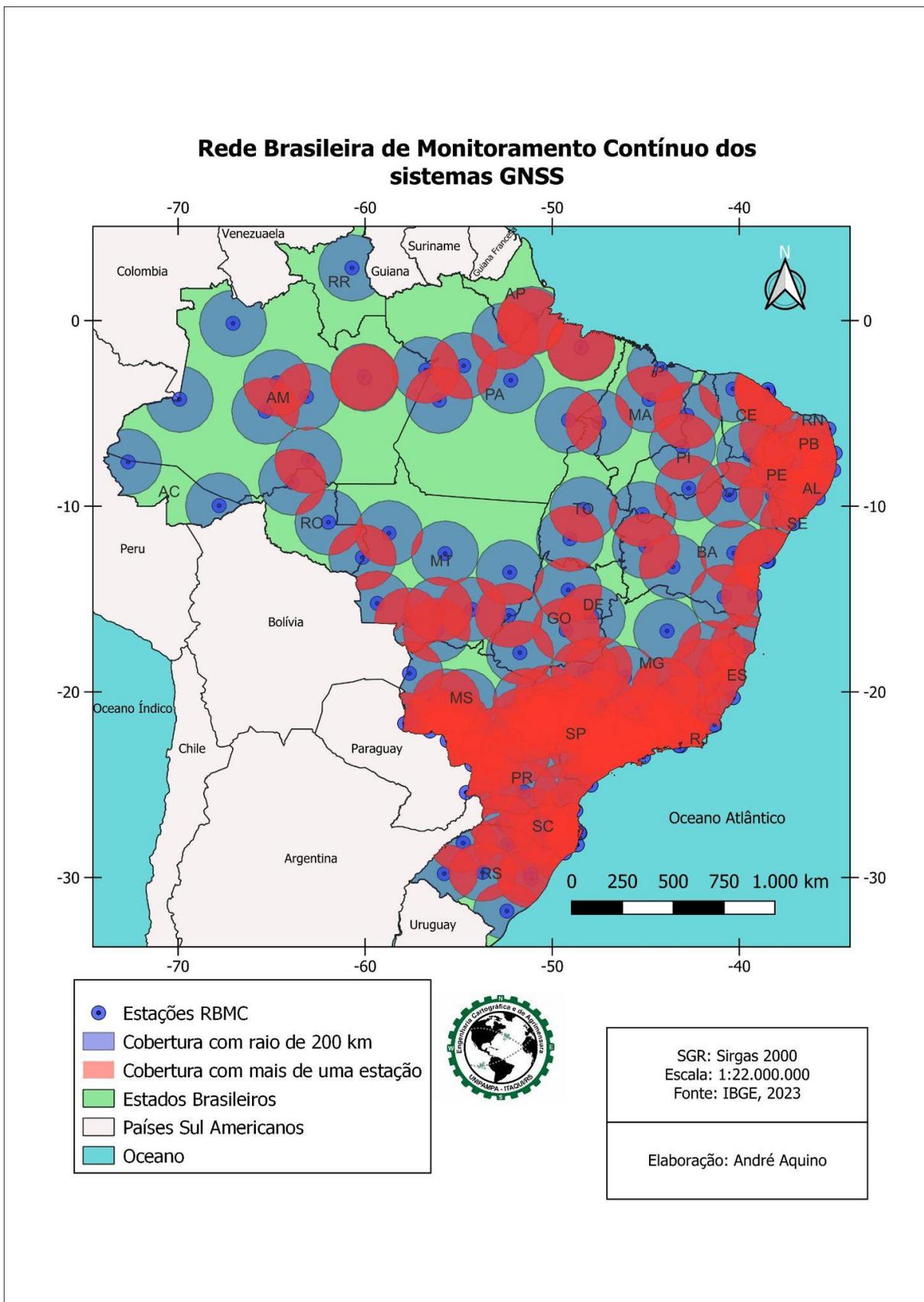
Na figura 9, foi aplicado um novo *Buffer*, dessa vez com um raio de 200 quilômetros do ponto base. Onde, é preciso salientar que essa distância não é considerada segura para processamentos de dados relativos, pois, além dos efeitos da curvatura da terra, os dados podem ser imprecisos.

Figura 9- Mapa da área de cobertura das RBMC com raio de 200 km

É possível perceber na figura 9, que com o raio de 200 quilômetros praticamente toda região Sul, Sudeste e Nordeste recebem cobertura das RBMC. Por outro lado, mesmo com um raio maior boa parte da região Norte ainda fica fora da área de cobertura, pois, como já foi dito anteriormente, isso se deve por conta da densidade demográfica muito baixa naquela região.

Na Figura 10, temos as áreas de interseções para o raio de 200 quilômetros da linha de base.é possível analisar que com essa distância, grande parte da região sul e sudeste, além da região nordeste com destaque para áreas litorâneas possuem cobertura de mais de uma estação

Figura 10- Mapa da área de cobertura das RBMC com raio de 200 km e intercessões com duas ou mais estações



Fonte: Autor

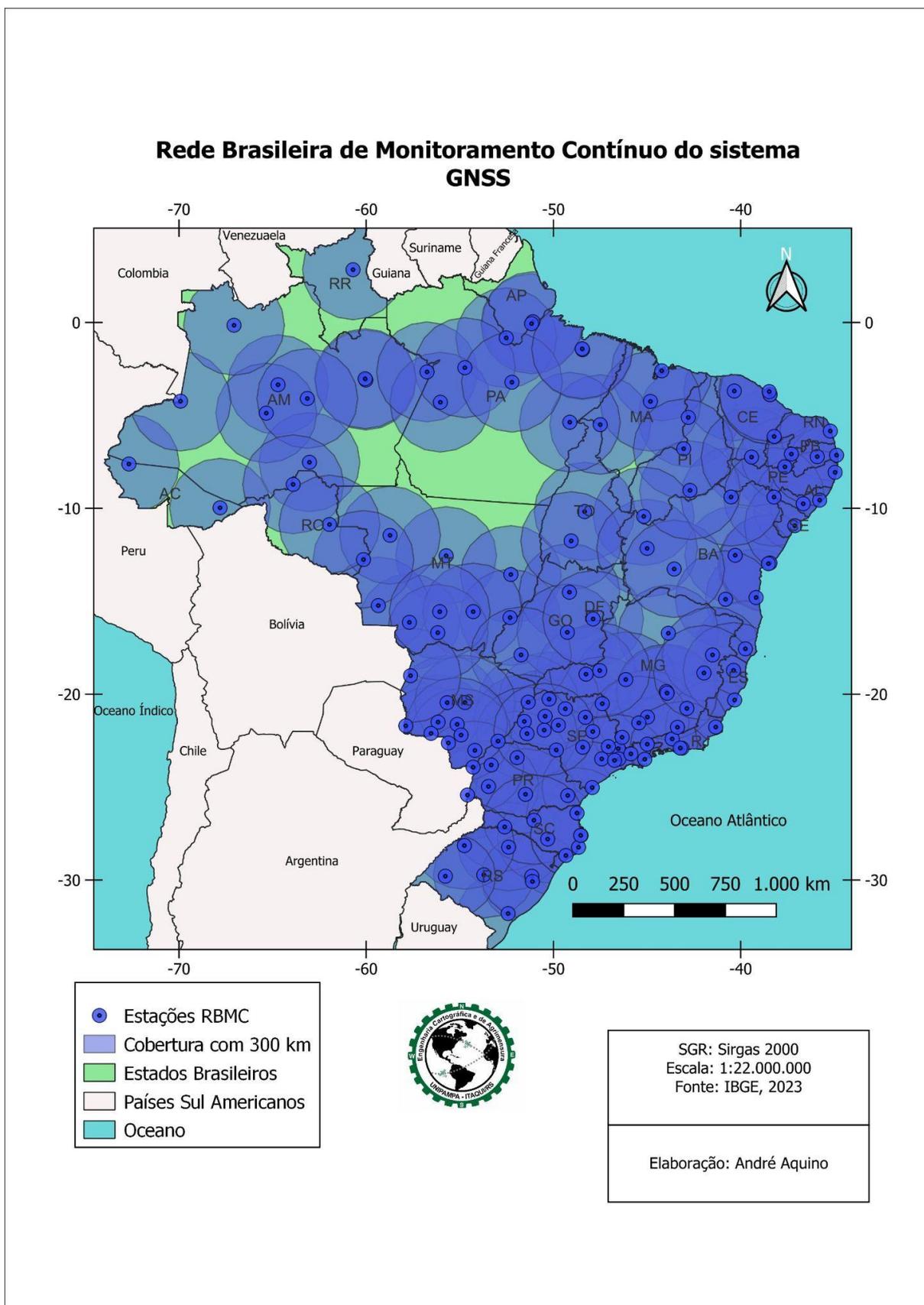
Podemos analisar que existe uma grande área na parte central da região Norte sem cobertura, representada principalmente pelo estado do Pará, e uma parte do Amazonas e Mato Grosso.

Em termos percentuais, com a linha base de 200 quilômetros, aparecem além do Distrito Federal outros dez estados com 100% de cobertura. São eles:(SP, RJ, SC, PR, ES, SE, AL, PE, PB, RN). Além disso, outros estados aparecem com cobertura quase completa, como é o caso do Rio Grande do Sul com 97,45%, além do Ceará, Minas Gerais e Bahia que aparecem com 96,89%, 93,69% e 92,47% respectivamente. Os estados que aparecem em pior situação de cobertura, ainda continuam sendo Roraima, Pará, Amapá e Amazonas respectivamente com 44,50%, 47,71%, 48,86% e 53,02%.

4.4 Cobertura das RBMC com raio de 300 km

Na figura 11, foi aplicado um *Buffer* com um raio de 300 quilômetros do ponto base. Onde, essa distância é considerada crítica para fins de processamento de dados relativos a outras aplicações.

Figura 11- Mapa da área de cobertura das RBMC com raio de 300 km

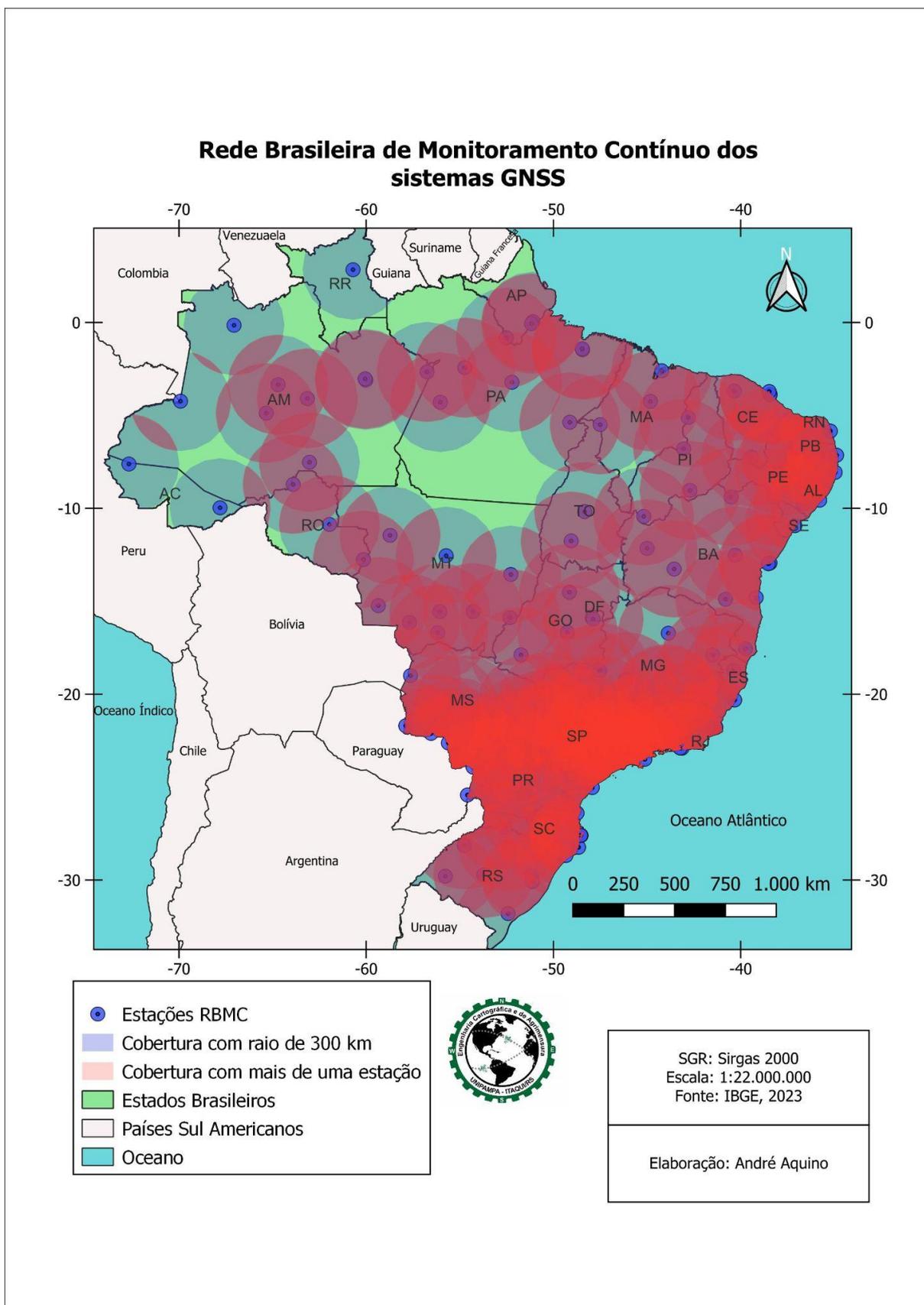


Fonte: Autor

Podemos observar que quase todas as regiões do país, possuem cobertura completa com o raio de 300 quilômetros. Porém, a região Norte é o estado que tem maior área fora do raio de cobertura. Além disso, é possível notar que o Pará é o estado que tem maior área fora da zona de cobertura para o raio limite de 300 quilômetros.

Também é possível verificar através da figura 12, que as intercessões abrangem grande parte do país, em exceção da região norte, mesmo que essa distância de 300 quilômetros da base não seja recomendado para trabalhos que exigem grandes precisões, ela é importante para analisar onde deverão ser instalados as novas estações.

Figura 13- Mapa da área de cobertura das RBMC com raio de 300 km e intercessões com duas ou mais estações



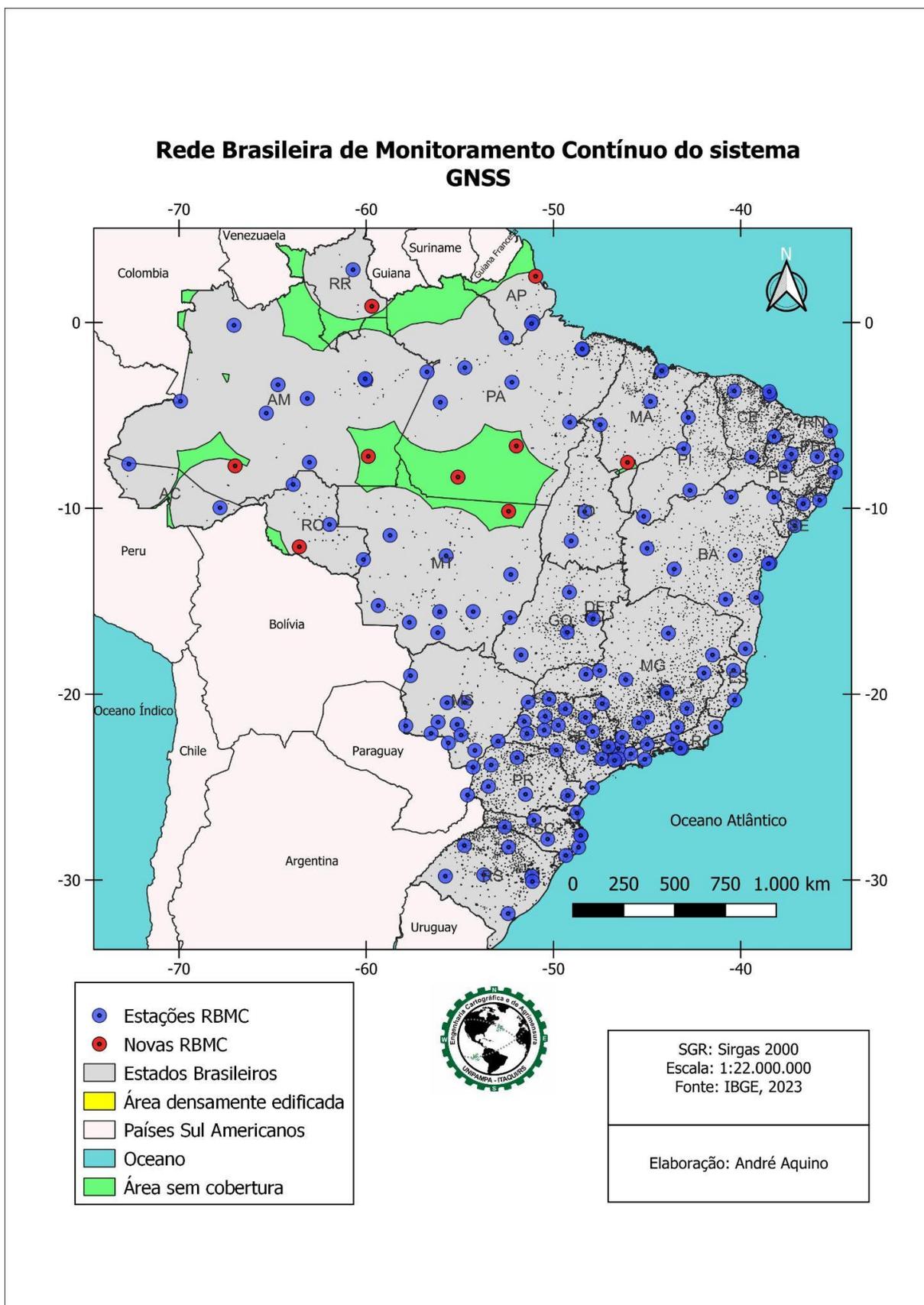
Fonte: Autor

É possível verificar, em termos percentuais, que o Pará tem a menor área de cobertura com 69,02% de área coberta. Em sequência, temos os estados do Amapá, Roraima e Amazonas respectivamente com 74,84%, 78,38% e 85,83%. Além disso, na região do Centro-oeste, temos o estado do Mato Grosso com 91,40% e o Maranhão na região Nordeste com 99,15% de cobertura.

4.5 Áreas com demandas de novas RBMC

Como é possível observar na figura 16, foram selecionados nove locais para instalação de novas estações RBMC para que se pudesse atender as áreas fora da zona de cobertura. É importante lembrar que esses locais selecionados atendem todos os requisitos impostos pelo IBGE para instalação de uma estação. Pois de acordo com o IBGE, alguns desses requisitos necessários são: área estável, segura, com acesso contínuo a energia elétrica e internet, além de possuir uma rede lógica funcionando continuamente para transferência de dados.

Figura 14- Mapa das áreas escolhidas para instalação de novas RBMC



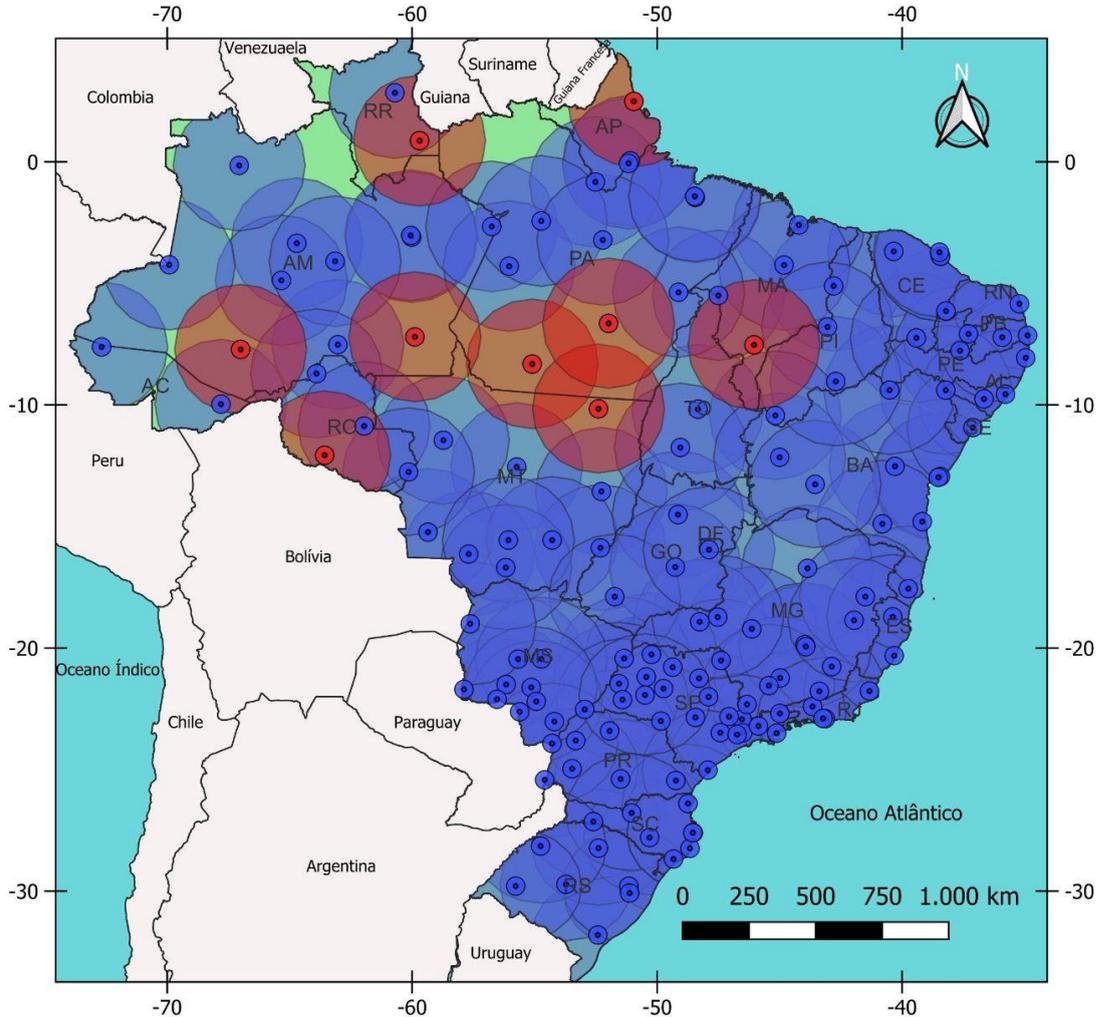
Fonte:Autor

Como pode ser visto na imagem acima, foram selecionados 2 locais no estado do Pará e do Amazonas. Os demais estados (MA, RO, RR, MT, AP), receberam uma estação cada.

É importante destacar, que esse mapa contém uma outra informação crucial para que pudéssemos identificar os novos locais de instalação das RBMC, que são as áreas densamente edificadas, pois, essa informação serviu como base para que essas cidades e distritos fossem localizados.

Figura 15- Mapa com novas áreas identificadas com buffer de 300 km

Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do sistema GNSS



- Estações RBMC
- Novas RBMC
- Área de cobertura das RBMC
- Área de cobertura das novas RBMC
- Estados Brasileiros
- Países Sul Americanos
- Oceano



SGR: Sirgas 2000
 Escala: 1:22.000.000
 Fonte: IBGE, 2023

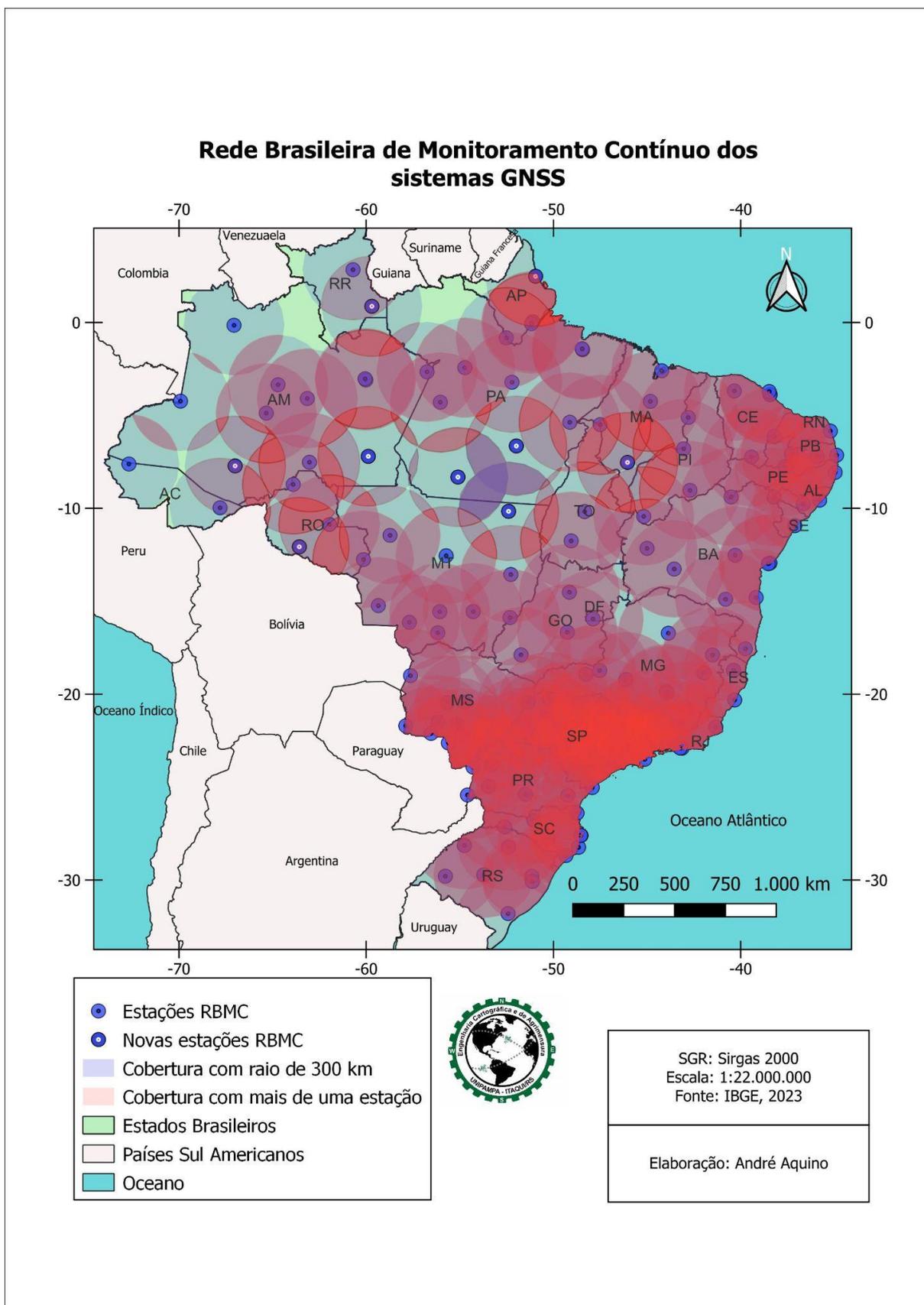
Elaboração: André Aquino

Quando os dados são analisados em porcentagem, é possível verificar que o estado de Roraima tem a menor percentual de área coberta com 89,55%, enquanto que o Amapá, Amazonas e Pará aparecem em sequência com 93,40%, 94,41% e 94,65% respectivamente.

Porém, é importante salientar que, essa porcentagem é dada pela área total de cada território. Como o estado de Amazonas e Pará tem uma área territorial relativamente maior que os estados de Roraima e Amapá, logo esses estados detêm uma quantidade maior de área fora da zona de cobertura.

Na figura 18, é possível analisar que mesmo com as novas estações essas áreas continuariam com poucas interseções, porém seria necessário uma análise mais profunda e específica naquela região a fim de encontrar novos locais para serem instaladas novas estações.

Figura 18- Mapa da área de cobertura das novas RBMC com raio de 300 km e intercessões com duas ou mais estações



Fonte:Autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como vimos acima, a região norte do que possui os estados de grande extensão territorial, é onde mais há a necessidade de implantação de mais estações. E no caso do Brasil como um todo, que é hoje o maior exportador líquido de produtos agrícolas, detém índices extraordinários de produtividade no campo e apresenta um enorme potencial de expansão da produção (JALES, [s.d.]).

O setor produtor agrícola, o qual possui as maiores extensões de terra, precisa ter um cadastro territorial muito bem gerido. O controle, e precisão gerados por levantamentos geodésicos precisos, por disponibilidade de estações de monitoramento contínuo é algo fundamental e necessário para o progresso cadastral, produção agrícola, e por fim, econômico nacional.

Além disso, o norte do país, que é a região que possui a maior quantidade de área fora da zona de cobertura, é a também a região onde fica localizada a maior floresta tropical do mundo a Floresta Amazônica, que além da sua enorme biodiversidade, tem uma quantidade incalculável de recursos naturais. E para se ter o controle dessas áreas em termos de preservação, desmatamento ou exploração de minério, se faz necessário uma maior distribuição de estações nesta região.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Marília Sanglard e DAL POZ, William Rodrigo. Posicionamento por Ponto Preciso e Relativo com GNSS: qual é o método mais acurado atualmente?. **BCG -Boletim de Ciências Geodésicas -On-Line version, ISSN 1982-2170**. Curitiba, vol. 22, n. 1, p. 165-195, jan-mar, 2016.

COSTA, S.M.A. e FORTES, L. P. S. **Nova hierarquia da rede planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro**. In: Anais do I Seminário sobre Referencial Geocêntrico no Brasil. Rio de Janeiro, outubro de 2000.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; et al. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. São José dos Campos: INPE, 1996. Disponível: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/anatomia.pdf>>. Acesso em: 23 junho. 2023, 22:37:30

De Sá, José Augusto Alencar. **ANÁLISE ESPACIAL DAS REDES GEODÉSICAS GNSS DE MONITORAMENTO CONTÍNUO: estudo de caso no Brasil, Austrália e Estados Unidos da América**. Orientador: Rodrigo Mikosz Gonçalves. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso Curso de Graduação em (Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) – Universidade Federal de Pernambuco, Campus Recife, Recife, 2018. Disponível em:<<https://www.ufpe.br/documents/39451/1217366/JOSE+AUGUSTO+ALENCAR+DE+S%C3%81.pdf/0350f89f-59bb-4404-83d9-a48f282d6222>>. Acesso em: 25 jan. 2023.

FORTES, L.P.S. **Operacionalização da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC)**. dissertação de mestrado, IME, Rio de Janeiro, 1997.

Grinter, T. & Roberts, C. Precise Point Positioning: Where are we now? International Global Navigation Satellite Systems Society –IGNSS. **Symposium 2011**. University of New South Wales, Sydney, NSW, Australia. 15 –17 November, 2011.

IBGE. **Orientação para Instalação de Estações e Monitoramento Contínuo GNSS compatível com RBMC | IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95160.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2023,14:37:30.

IBGE. **IBGE-PPP - Serviço Online para Pós-processamento de Dados GNSS**. Disponível em: <https://blog.cpetecnologia.com.br/ja-ouviu-falar-sobre-a-rbmc-rede-brasileira-de-monitoramento-contínuo-dos-sistemas-gnss/>. Acesso em: 23 jan. 2023,14:39:30.

IBGE. **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS | IBGE :: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. disponível em :<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-g>

eodesica/16258-rede-brasileira-de-monitoramento-continuo-dos-sistemas-gnss-rbmc.html?=&t=situacao-operacional Acesso em: 23 nov. 2023.

INDE. **São agora 112 as estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo que permitem obter Coordenadas de Alta Precisão.** Disponível em: <https://inde.gov.br/Noticias/Detalhe/16>. Acesso em: 23 jan. 2023,14:39:30.

ROMÃO, V. M. C.; SILVA, A. S. Seminário Nacional sobre Mapeamento Sistemático- CREA MG Belo Horizonte 2002 Implantação de redes geodésicas gps nos. **Seminário nacional sobre mapeamento sistemático- CREA MG**, 2002.

S. Aronoff. **Geographic Information Systems**. WDL Publications, Canada, 1989.