Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia - FAENG
Engenharia Ambiental - Bacharelado

Thiago Knöner Thames (2020.2104.020-5)

Trabalho de Conclusão de Curso:
Limites do Chaco no Brasil Utilizando Dados de Elevação

Campo Grande - MS

2024

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia - FAENG
Engenharia Ambiental - Bacharelado

Thiago Knöner Thames (2020.2104.020-5)

Trabalho de Conclusão de Curso: Limites do Chaco no Brasil Utilizando Dados de Elevação

Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido como parte da avaliação do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Conceição Paranhos Filho.

Co-orientador: Prof. Dr. Alisson André Ribeiro.

Campo Grande - MS

2024

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 9
2. OBJETIVO..... 12
3. MATERIAIS E MÉTODOS..... 13
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... 20
5. CONCLUSÃO..... 28
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do recorte do FABDEM, corresponte a uma área de aproximadamente 380x215 km na região oeste do estado de Mato Grosso do Sul (vermelho)..... 13

Figura 2 - Esquema de cálculo do Índice SL proposto por Hack. Fonte: ETCHEBEHERE, 2004..... 14

Figura 3 - Blocos estruturais do Chaco no Brasil. Aplicação da ferramenta Aspect do WTB com dados SRTM e TANDEM. Fonte: VIANA (2024).....18

Figura 4 - Drenagem vetorial (shapefile) em azul extraída do recorte do FABDEM, no contexto do estado de Mato Grosso do Sul em vermelho.... 19

Figura 5 - Índices SL calculados para a drenagem extraída do FABDEM, classificados de azul (valores menores) a vermelho (valores maiores).... 20

Figura 6 - Limites em azul correspondentes aos rios Miranda, Paraguai, Apa e Nabileque comparados com os limites geomorfológicos em vermelho. (VIANA, 2024)..... 21

Figura 7 - Limites oeste da região 7 e entre as regiões 7 e 5 baseados na drenagem em azul, comparados com os limites geomorfológicos em vermelho. (VIANA, 2024)..... 22

Figura 8 - Limites referente às cotas 85 e 95 em azul, comparados com os limites geomorfológicos em vermelho. (VIANA, 2024).....23

Figura 9 - Limite norte da região 5, referentes às cotas 84 e 104 em azul, comparados com os limites geomorfológicos em vermelho. (VIANA, 2024). 24

Figura 10 - Limites norte e leste da região 8.referentes a cota 135 e o rio Aquidaban em azul, comparados com os limites geomorfológicos em vermelho. (VIANA, 2024)..... 24

Figura 11 - Limites do Chaco no Brasil, determinados a partir do MDE FABDEM, utilizando os critérios de drenagem, quebras de relevo e índices SL..... 26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados utilizados como os limites do Chaco.....19

Agradecimentos

Agradeço profundamente aos meus orientadores Prof. Dr. Antônio Conceição Paranhos Filho e Prof. Dr. Alisson André Ribeiro e aos professores Prof. Dr. Ariel Ortiz Gomes e Prof. Dra. Isabel Kaufmann de Almeida, que com dedicação, inspiração e ajuda inestimável, guiaram-me ao longo desta jornada acadêmica. Seus conhecimentos, suas experiências e sua humanidade foram fundamentais para o meu crescimento intelectual e profissional. Suas palavras de incentivo e críticas construtivas me permitiram superar obstáculos e alcançar meus objetivos.

Também quero expressar minha gratidão às minhas colegas de curso, Jessica Lima Viana, Isabella Fernandes Bentos, Maria Eduarda de Oliveira Dourados, Giovana Zimermann Dualibi e Thaysa Mirelly que compartilharam comigo muitos momentos de luta, estudo, dedicação e aprendizado. O companheirismo e apoio que recebi de vocês foram essenciais para superar os desafios do curso.

Além disso, agradeço aos meus chefes e colegas de trabalho nas empresas Hidrosul Ambiental, WF Ambiental e no SENAR/MS, que acreditaram no meu potencial e me deram a oportunidade de crescer profissionalmente. Sua confiança e apoio me permitiram desenvolver habilidades e competências que foram fundamentais para o meu sucesso.

Por fim, quero agradecer aos meus amigos queridos, que estiveram ao meu lado durante todo esse tempo, me apoiando em cada momento, seja de alegria ou de dificuldade. Sua amizade e companhia foram uma fonte constante de motivação e inspiração.

Obrigado a todos que contribuíram para a minha jornada!

Resumo

O Bioma Chaco é uma região única e importante para a biodiversidade brasileira, localizada no oeste do estado de Mato Grosso do Sul. Este trabalho visa delimitar o Bioma Chaco brasileiro utilizando geotecnologias e dados de elevação do FABDEM. A metodologia empregou o software QGIS e o modelo digital de elevação FABDEM para gerar modelos hidrográficos e calcular o Índice SL. Os resultados mostraram que os limites do Chaco coincidem com corpos hídricos e cotas de terreno significativas, e que os índices SL são eficazes para identificar anomalias de declividade. A combinação desses critérios permitiu refinar os limites do Bioma Chaco, identificando áreas de transição e anomalias de relevo. Os resultados contribuem para o avanço do conhecimento sobre a estrutura geológica do Bioma Chaco no Brasil e orientam futuras pesquisas na área.

Palavras-chave: Bioma Chaco, FABDEM, Índice SL, Delimitação de Biomas.

Abstract

The Chaco Biome is a unique and important region for Brazilian biodiversity, located in the western part of Mato Grosso do Sul state. This study aims to delineate the Brazilian Chaco Biome using geotechnologies and FABDEM elevation data. The methodology employed QGIS software and FABDEM digital elevation models to generate hydrographic models and calculate the SL Index. Results showed that Chaco's boundaries coincide with significant water bodies and terrain elevations, and SL indices effectively identify slope anomalies. Combining these criteria refined Chaco's boundaries, identifying transition areas and relief anomalies. The findings contribute to advancing knowledge on the geological structure of Brazil's Chaco Biome and guide future research.

Keywords: FABDEM, SL Index, Biome Delineation, Geotechnology

1. Introdução

A definição precisa de um bioma é fundamental para entender sua dinâmica ecológica e implementar estratégias de conservação eficazes. Para COUTINHO (2016), um bioma como uma área do espaço geográfico representada por um tipo uniforme de ambiente, identificado e classificado pelo macroclima, fitofisionomia, solo e a altitude.

Nesse contexto, conforme o descrito por SARTORI *et al.* (2021), o Gran Chaco Sudamericano ou simplesmente Chaco, localizado na região central da América do Sul, é o único bosque seco subtropical do mundo, coberto pela mata seca contínua mais extensa desse continente. (BUCHER; HUSZAR, 1999; POTT *et al.*, 2008). É uma das regiões com maior biodiversidade do planeta (BACHMANN *et al.*, 2007). Apresenta um mosaico de ambientes, com extensas áreas planas, serras, extensos rios, savanas secas e inundáveis, brejos, banhados, salitrais e formações vegetais. Essa ampla diversidade ambiental contém alta riqueza de espécies e endemismos, em comparação a outros ambientes áridos, semiáridos e subúmidos (BACHMANN *et al.*, 2007, SILVA *et al.*, 2008). Considerada a segunda região de bosques mais extensa de América do Sul, depois da Amazônia (BACHMANN *et al.*, 2007), conta com aproximadamente 3.400 espécie de plantas (POTT *et al.*, 2008). A fauna é constituída de 500 espécies de aves, 150 mamíferos, 120 répteis e 100 anfíbios (BACHMANN *et al.*, 2007; POTT *et al.*, 2008; REDFORD *et al.* 1990).

A fração dessa savana estépica no Brasil está localizada no extremo sul da planície pantaneira, em cinco sub-regiões (ABDON; SILVA, 2006) que, segundo SILVA *et al.* (2008), faz parte da porção conhecida por Chaco Úmido ou Chaco Oriental. A extensão da área de Chaco no Brasil é controversa, com estudos como SILVA *et al.*, em 2007, que estimaram em 12.144,9 km2 a área de Chaco natural somente em Porto Murtinho. No entanto, outras sub-regiões requerem análises, conforme o descrito por SARTORI *et al.* (2021).

As geotecnologias são fundamentais para o estudo de biomas, oferecendo uma ferramenta poderosa para a análise espacial e a tomada de decisão em estudos ambientais. Elas permitem a integração de dados espaciais e não espaciais, facilitando a análise e a visualização dos resultados. Um exemplo produto das geotecnologias é o Modelo Digital de Elevação (MDE), que trata-se de uma representação numérica da superfície terrestre, fundamental para estudos hidrológicos, geomorfológicos e ambientais. O MDE é utilizado em diversas aplicações, incluindo a extração de drenagem, a análise de declividade e a simulação de processos hidrológicos.

O FABDEM (Forest And Buildings Removed Copernicus DEM) (Neal et al., 2023) é um modelo digital de elevação que combina dados de elevação do terreno com informações sobre cobertura florestal e edifícios. Ele é derivado do Copernicus DEM, um modelo de elevação global desenvolvido pela União Europeia. A vantagem do FABDEM é que os autores usaram aprendizado de máquina para remover edifícios e florestas do Copernicus DEM para produzir, um mapa global de elevação com edifícios e florestas removidos em uma resolução espacial de 30 m, fornecendo uma representação mais precisa do terreno subjacente. Isso permite uma melhor análise de processos hidrológicos, geomorfológicos e ambientais, além de aplicações em modelagem de riscos naturais, planejamento urbano e gestão de recursos naturais (COPERNICUS, 2020). Bielski et al. (2024) realizaram um ranqueamento extensivo dos modelos digitais de elevação (MDE) e de superfície (MDS) globais de acordo com sua acurácia, sendo o FABDEM o melhor MDE global, baseado no Copernicus DEM, o melhor MDS global.

A Geomorfometria é a área do conhecimento que estuda a representação quantitativa da topografia (PIKE et al.,2009; LINDSAY, 2016). Esse campo do conhecimento é concentrado na extração de informações a partir de modelos digitais de elevação (DEMs) visando compreender melhor os processos responsáveis pelo relevo, conforme descrito por VIANA (2024).

Dessa forma, a análise geomorfológica é fundamental para entender a estrutura geológica de um bioma. Ao estudar os limites morfoestruturais, é possível identificar as características geomorfológicas que definem a unidade do bioma. Essa abordagem combina técnicas de geoprocessamento e análise espacial para entender a dinâmica geomorfológica do bioma. (PIKE et al.,2009)

Outra aplicação dos DEMs é a sua utilização para o cálculo do Índice de Declividade Longitudinal. O Índice SL, ou Índice de Hack é um método quantitativo utilizado para relacionar a declividade e a extensão de um canal fluvial. Esse índice é muito útil para identificar anomalias de declividade, é utilizado em estudos ambientais para entender a dinâmica fluvial e identificar áreas de risco, como inundações, erosão e deslizamentos de terra. Nesse índice, os valores mais baixos indicam declividades mais suaves e valores mais altos indicam declividades mais acentuadas. (HACK, 1973).

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi delimitar o Bioma Chaco brasileiro utilizando geotecnologias e dados de elevação do FABDEM, a partir de três critérios principais: corpos hídricos, cotas de altitude e índice SL. Com essa metodologia, pretende-se refinar os limites do bioma Chaco brasileiro, identificando áreas de transição e anomalias de relevo que caracterizam essa região única. A combinação dessas tecnologias e conceitos permitirá uma análise mais detalhada do bioma Chaco, avançando o conhecimento sobre a sua estrutura geológica no Brasil e orientando futuras pesquisas nessa área.

3. Materiais e Métodos

A metodologia utilizada para delimitar o Bioma Chaco brasileiro a partir de dados de elevação empregou o software QGIS (QGIS Development Team, 2024) como ferramenta principal, juntamente do modelo digital de elevação FABDEM (Neal et al., 2023) como principal fonte de dados de terreno, a partir dos quais foram gerados os modelos hidrográficos, na forma das linhas dos trechos de drenagem e o índice SL das suas vértices.

O FABDEM foi escolhido para este estudo devido à sua resolução espacial e remoção de vegetação e edifícios, características que garantem uma representação detalhada e precisa da topografia, permitindo análises confiáveis da drenagem, declividade e outras características do terreno. O primeiro passo do trabalho foi a obtenção do FABDEM para a área de estudo, o Chaco brasileiro. Os dados do FABDEM foram obtidos do site oficial do projeto, hospedado pela Universidade de Bristol. (Fonte: <https://research-information.bris.ac.uk/en/datasets/fabdem-v1-2>).

Esses dados estão no formato Geotiff, com cada arquivo dividido em blocos de 1x1 grau. Os arquivos são organizados em pastas compactadas de 10x10 graus e são rotulados com base no canto sudoeste do bloco. Por exemplo, o arquivo "N51E005_FABDEM_V1-0.tif" abrange uma área de 51-52 graus de latitude norte e 5-6 graus de longitude leste. As pastas compactadas são rotuladas com base no canto sudoeste e no canto nordeste, como em "N10E010-N20E020_FABDEM_V1-0.zip", que abrange uma área de 10-20 graus de latitude norte e 10-20 graus de longitude leste.

Para este trabalho, foi utilizado um recorte do FABDEM de aproximadamente 380x215 km, correspondente à área de estudo do Bioma Chaco brasileiro, localizado na região oeste do estado de Mato Grosso do Sul. Posteriormente, estabeleceu-se uma simbologia falsa-cor para o FABDEM recortado, visando facilitar a visualização das informações de elevação. Essa representação gráfica permitiu uma melhor compreensão da topografia da região, e serviu também para orientar a identificação das sub-regiões do Chaco, conforme pode-se observar na **Figura 1**.

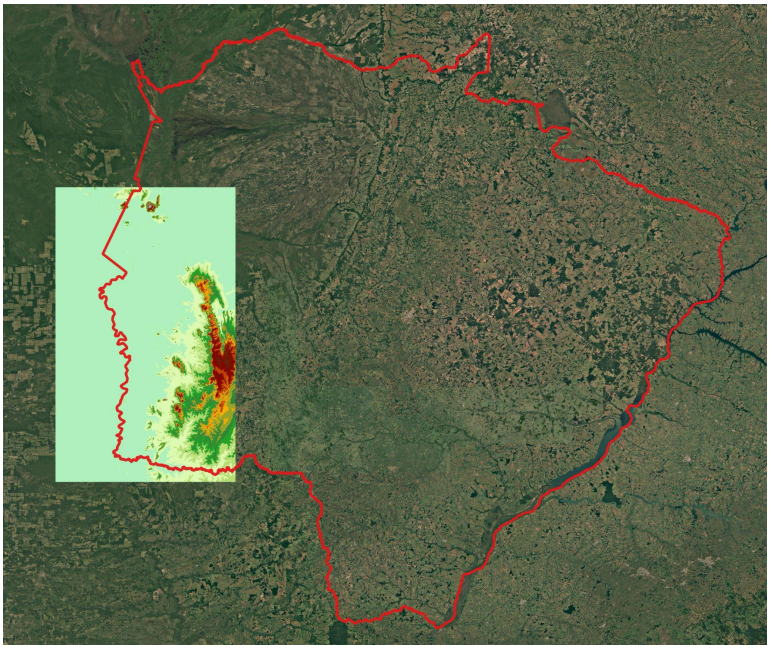

Figura 1 - Localização do recorte do FABDEM, corresponte a uma área de aproximadamente 380x215 km na região oeste do estado de Mato Grosso do Sul (vermelho).

Em seguida, foi realizada a extração da drenagem da região apresentada, utilizando o plugin WhiteboxTools (Lindsay, 2024) no sofware QGIS, a partir do modelo digital de elevação FABDEM. O procedimento de extração da drenagem utilizando o Whitebox no QGIS foi realizado com base no trabalho “Extração automática de bacias hidrográficas e drenagem” de RIBEIRO (2024).

Inicialmente, o FABDEM foi carregado no QGIS e processado com a ferramenta "FillDepressionsWangAndLiu" para remover depressões artificiais. Em seguida, a direção do fluxo de água foi determinada com a ferramenta "D8Pointer", seguida da aplicação da ferramenta "D8 Flow Accumulation" para calcular a acumulação de fluxo. Posteriormente, a rede de drenagem foi extraída com a ferramenta "ExtractStreams", que identificou os cursos d'água e suas respectivas direções. Por fim, foi utilizada a ferramenta "RasterStreamsToVector", utilizando a drenagem raster e a direção de fluxo como entrada, para gerar a rede de drenagem no formato vetorial. Esse processo gerou um arquivo vetorial (shapefile) representando a rede de drenagem da área de estudo.

Então, a drenagem foi visualizada no software, permitindo uma análise detalhada da rede hidrográfica da região.

O plugin Whitebox demonstrou eficiência e precisão na extração da drenagem, fornecendo as linhas de drenagem utilizadas nas etapas subsequentes deste trabalho, conforme pode-se observar na **Figura 4**.

Em seguida, foi realizado o cálculo do Índice SL, também conhecido como Índice de Hack, que trata-se de um método quantitativo utilizado em estudos ambientais para relacionar a declividade e a extensão de um canal fluvial.

A realização do Índice SL consiste na aplicação da fórmula explicada por POLZIN (2008):

> A fórmula consiste na diferença altimétrica entre dois pontos extremos de um segmento ao longo do curso d'água (Δh), dividida pela projeção tangencial da extensão do referido segmento (Δl) e multiplicada pelo comprimento total do curso d'água (L) a montante do ponto para o qual o índice está sendo calculado. (POLZIN, 2008)

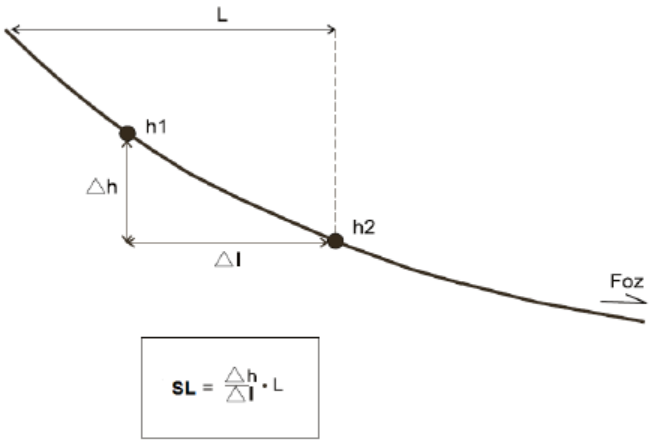

Figura 2 - Esquema de cálculo do Índice SL proposto por Hack. Fonte: ETCHEBEHERE, 2004.

Quanto maior o valor do Índice SL, maior a variação na declividade do curso d'água. O objetivo do uso do índice no trabalho foi identificar anomalias de declividade,

que indicam potencialmente quebras de relevo, uma vez que conforme o apresentado na relação do cálculo do índice, valores altos de SL significam que a variação altimétrica é significativa em relação à extensão do segmento, o que sugere uma quebra abrupta no relevo. Valores comuns do Índice SL variam de 1 (declividade uniforme) a 3 ou mais (declividade variável). A análise do Índice SL foi utilizada em conjunto com as outras ferramentas apresentadas como critério de validação para a definição dos limites do Chaco no Brasil.

O cálculo de índices SL ao longo de linhas de drenagem vetorial (shapefile) foi realizado utilizando os softwares QGIS e Microsoft Excel. O processo começou explodindo as linhas de drenagem no QGIS, convertendo-as em segmentos individuais. Em seguida, foram extraídos os vértices das linhas de drenagem, gerando pontos que representam as extremidades de cada segmento. Então, esses pontos são utilizados para extrair os dados de elevação e as coordenadas X e Y em UTM de cada ponto.

Com os dados de elevação e coordenadas em mãos, foi atribuído um ID a cada ponto, e em seguida foram exportados os dados em forma de planilha, para o cálculo do SL no software Microsoft Excel, seguindo a fórmula proposta de Hack, conforme as relações trigonométricas abaixo:

$$L = \sqrt{(X_{n+1} - X_n)^2 + (Y_{n+1} - Y_n)^2}$$

$$LI_{n+1} = L + LI_n$$

$$LSL_{n+1} = LI_{n+1} - \frac{1}{2} * L$$

$$\Delta H = H_{n+1} - H_n$$

$$SL = \frac{\Delta H}{L} * LSL_{n+1}$$

Onde:

Xn = Coordenada X do ponto inicial;

Xn+1 = Coordenada X do ponto subsequente;

Yn = Coordenada Y do ponto inicial;

Yn+1 = Coordenada Y do ponto subsequente;

L = Distância do segmento;

LIn = Distância do ponto inicial com relação ao trecho total;

LIn+1 = Distância do ponto subsequente com relação ao trecho total;

LSLn+1 = Distância do trecho total até o ponto subsequente;

Hn = Altura do ponto inicial;

Hn+1 = Altura do ponto subsequente;

SL = Índice SL.

Conforme as relações apresentadas, foram calculados no Excel os índices SL para cada ponto, tomando o cuidado de utilizar uma condicional para o caso do ID do ponto ser igual a zero, indicando o ponto inicial do segmento que trata-se de um início de trecho, nesse caso, os valores calculados são todos iguais a zero.

Adicionalmente, o resultado foi normalizado dividindo o índice SL por um fator k resultante da seguinte relação:

$$k = \frac{H_{Máx} - H_{Min}}{Ln\,(LT)}$$

Onde:

Hmáx = Maior elevação do trecho;

Hmin = Menor elevação do trecho;

LT = Distância total do trecho.

Os Índices SL para cada vértice foram então novamente exportados para o QGIS, contendo todas as informações calculadas e os índices SL. Os novos pontos foram então configurados com uma simbologia adequada para melhor visualização das anomalias, conforme pode-se observar na **Figura 5**.

Então, de posse das linhas de drenagem e dos índices SL, o procedimento de identificação de limites estruturais do Chaco envolveu a análise e comparação dos dados de drenagem extraída e do índice SL calculado, bem como as informações de relevo do MDE, com os blocos estruturais do Chaco no Brasil proposto por VIANA (2024) em "Limites Morfoestruturais do Chaco no Brasil.", com a intenção de validar e refinar esses limites utilizando três critérios principais: corpos hídricos, quebras de relevo (quantificadas em cotas de terreno) e índices SL.

Inicialmente, foram identificados os limites, apresentados na **Figura 3**, que coincidiam com corpos hídricos ou linhas de drenagem. Essas linhas foram extraídas e utilizadas como limites estruturais do Chaco. Em seguida, foram analisadas as áreas onde não havia correspondência com corpos hídricos, buscando quebras de relevo significativas nas cotas de terreno. As linhas que representavam essas quebras de relevo foram extraídas, na forma de cotas de terreno e adicionadas aos limites estruturais.

Em conjunto, os índices SL foram utilizados como critério de validação. Os pontos com um SL alto foram utilizados, por exemplo, para unir linhas de drenagem fragmentadas, enquanto também ajudaram a verificar se as cotas extraídas correspondiam majoritariamente a anomalias de relevo, reforçando a validade dos limites estruturais identificados.

Por fim, as ferramentas de edição de vetores foram empregadas para juntar as linhas geradas, utilizando sempre os índices SL como critério de decisão.

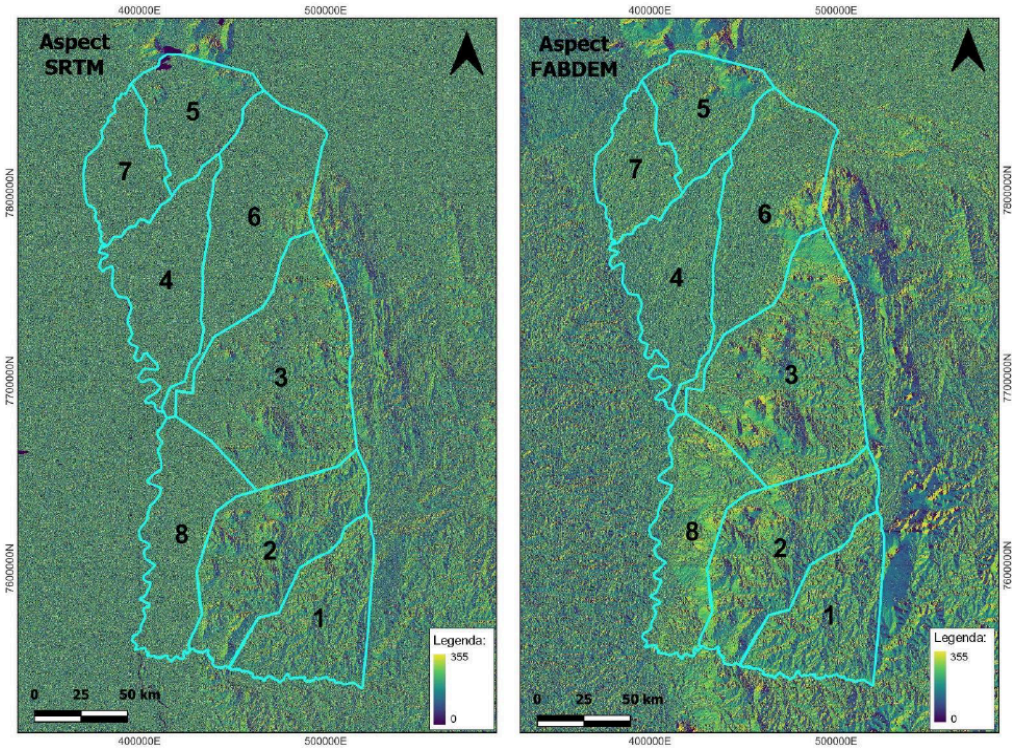

Figura 3 - Blocos estruturais do Chaco no Brasil. Aplicação da ferramenta Aspect do WTB com dados SRTM e TANDEM. Fonte: VIANA (2024).

4. Resultados e Discussões

Diante da metodologia apresentada, foram refinados os limites do Chaco utilizando inicialmente, conforme o estabelecido, dois tipos de informações: corpos hídricos e cotas de terreno.

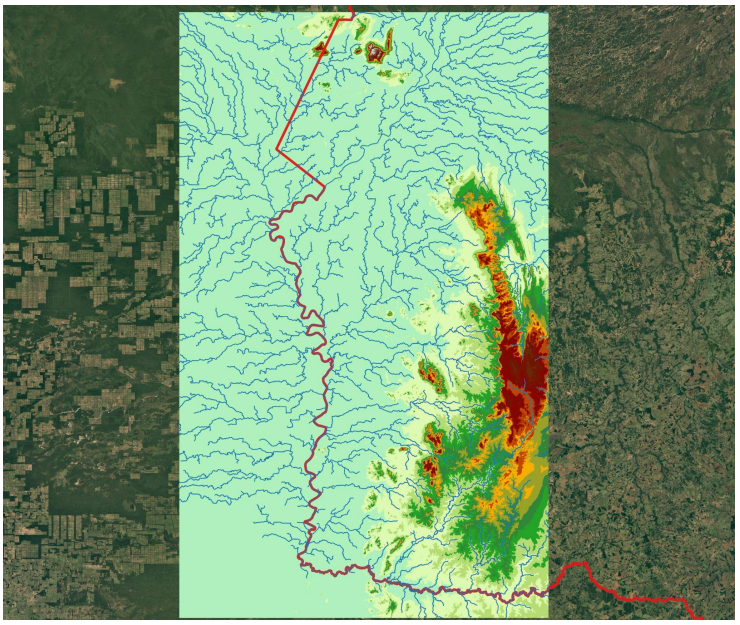

Figura 4 - Drenagem vetorial (shapefile) em azul extraída do recorte do FABDEM, no contexto do estado de Mato Grosso do Sul em vermelho.

Na **Tabela 1**, pode-se observar os corpos hídricos identificados, juntamente das cotas de terreno determinadas para os limites do Chaco.

Tabela 1 - Dados utilizados como os limites do Chaco.

Corpos Hídricos	Cotas de Terreno
Rio Miranda	Cota 84
Rio Aquidaban	Cota 85
Rio Negro (Paraguai)	Cota 95
Rio Nabileque	Cota 104
Rio Paraguai	Cota 135
Rio Apa	-

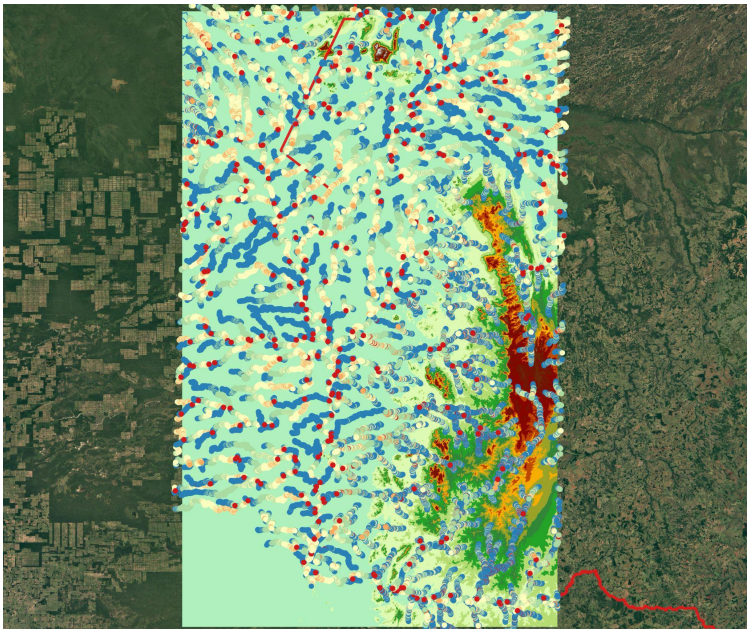

Figura 5 - Índices SL calculados para a drenagem extraída do FABDEM, classificados de azul (valores menores) a vermelho (valores maiores).

A análise dos resultados mostrou que, em alguns casos, os limites coincidem exatamente com corpos hídricos, como o rio Miranda ao norte da região 6, o rio Paraguai no limite oeste das regiões 4 e 8, o rio Apa no limite sul da região 8 e o rio Nabileque entre as regiões 4 e 6.

Esses corpos hídricos foram considerados como os limites nesses casos, pois apresentaram uma correspondência direta com os limites do Chaco estabelecidos no trabalho de referência. Os limites podem ser visualizados na **Figura 6**.

Em outros casos, os corpos hídricos não coincidem completamente ou tão claramente, mas foram utilizados ainda assim por outros fatores complementares. No caso do Rio Negro (Paraguai), a feição da drenagem coincidiu quase completamente com o limite oeste da região 7, juntamente com um segundo trecho de drenagem também extraído pelo FABDEM, então, foi utilizada essa combinação para refinar o limite noroeste do Chaco.

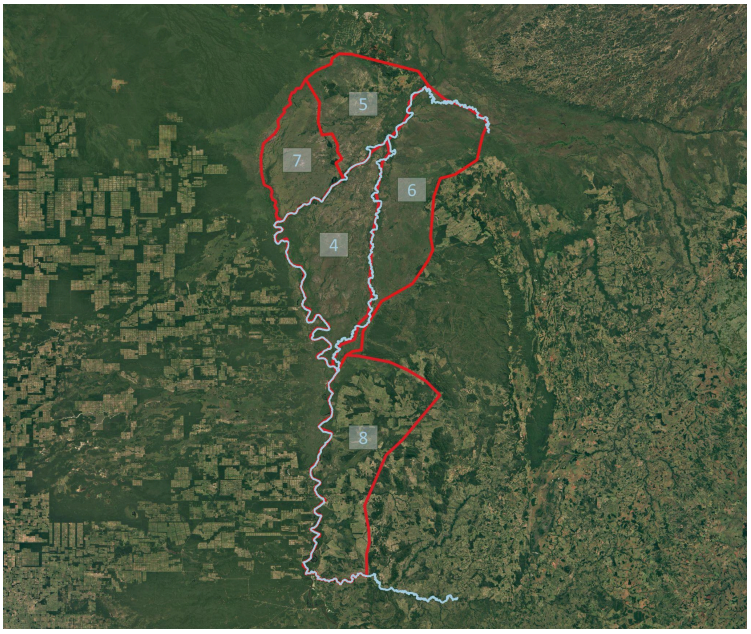

Figura 6 - Limites em azul correspondentes aos rios Miranda, Paraguai, Apa e Nabileque comparados com os limites geomorfológicos em vermelho. (VIANA, 2024)

Já o limite entre as regiões 7 e 5 foi delimitado a partir de 3 trechos de drenagem de diferentes corpos hídricos, uma vez que embora não tenha sido possível identificar um único corpo hídrico correspondente ao limite, esses três identificados estavam alinhados com o limite e na mesma em orientação, considerando o comprimento somado. Adicionalmente, foi possível identificar a presença de anomalias de declividade a partir dos índices SL para esses corpos hídricos, e foi possível identificar também alguns pontos de cotas altas entre eles, justificando a quebra na linha de drenagem. O limite oeste da região 7 e o limite entre as regiões 7 e 5 podem ser visualizados na **Figura 7**.

Nos casos onde não havia correspondência direta entre um limite e um corpo hídrico, ou nos casos onde os corpos hídricos identificados não estavam conectados, utilizou-se os vértices do índice SL como critério de união. Por exemplo, nos encontro dos limites dos rios Paraguai e Nabileque, foi possível identificar uma anomalia de declividade exatamente no ponto de união proposto no estudo de referência.

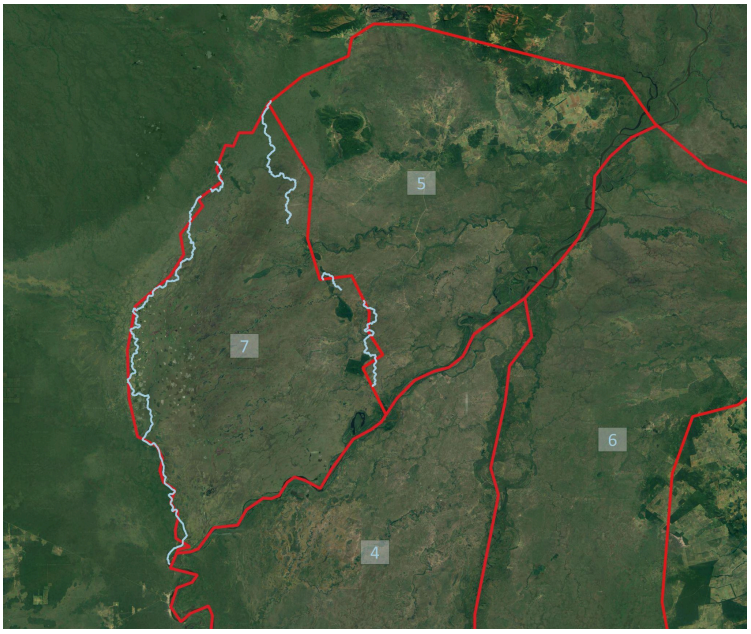

Figura 7 - Limites oeste da região 7 e entre as regiões 7 e 5 baseados na drenagem em azul, comparados com os limites geomorfológicos em vermelho. (VIANA, 2024)

Já no caso do Rio Aquibadan, ele não coincidiu diretamente com o limite entre as regiões 8 e 3, mas além de continuar diretamente dos rios Paraguai e Aquibadan, ele apresentou uma orientação semelhante e várias anomalias de declividade no seu trecho. Por fim, o início desse trecho coincidiu com o limite da cota 135, que foi um dos limites definidos a partir da extração de cotas do FABDEM.

Para os limites baseados em cotas, usando os critérios descritos, para o limite entre as regiões 6 e 3, foram selecionadas as cotas 85 e 95, visto que em, essas duas cotas coincidiram com os limites estabelecidos, e apresentaram valores de SL altos na grande maioria dos pontos em que a mesma cruzou corpos hídricos. O limite entre as regiões 6 e 3 pode ser visualizado na **Figura 8**.

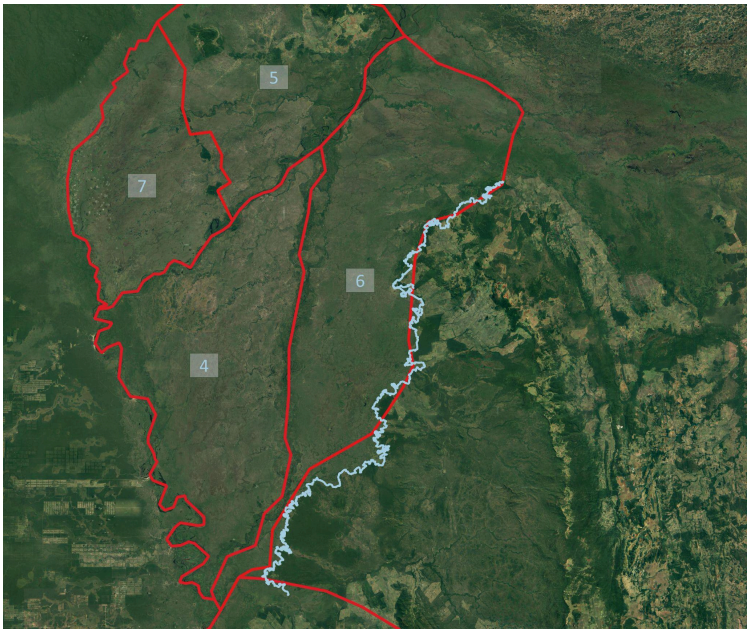

Figura 8 - Limites referente às cotas 85 e 95 em azul, comparados com os limites geomorfológicos em vermelho. (VIANA, 2024)

Seguindo essa mesma lógica, para os limites ao norte da região 5, foram utilizadas as cotas 84 e 104, já que foi identificada ali uma região de altitudes muito mais elevadas, correspondente à ilha Fecho dos Morros, localizada no rio Paraguai, no município de Corumbá.

Considerando que o Fecho dos Morros é uma abertura nas serras do rio Paraguai que corre apertado ou por cima de saliências rochosas, tomou-se essas duas cotas localizadas à base da elevação como os limites superiores dessa região.

Essas cotas então foram recortadas e complementadas com os vértices dos SLs anômalos da região próxima, e para os pontos onde não foi possível identificar cotas ou resultados anômalos de SL, manteve-se os limites encontrados no estudo de base. O limite norte da região 5 pode ser visualizado na **Figura 9**.

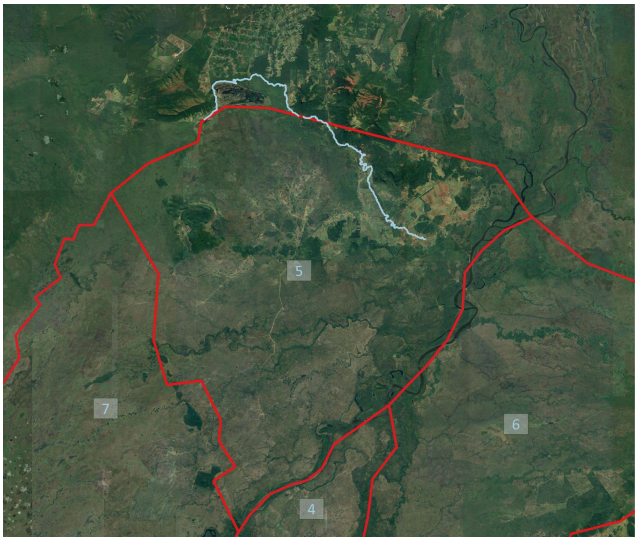

Figura 9 - Limite norte da região 5, referentes às cotas 84 e 104 em azul, comparados com os limites geomorfológicos em vermelho. (VIANA, 2024).

Por fim, foi selecionada a cota 135 como limite leste da região 8, visto que ela coincidiu com o limite proposto, e indica o início da região plana do Chaco. Análogo às cotas 85 e 95, foi possível observar que nos pontos onde essa cota cruza corpos hídricos, majoritariamente encontram-se resultados altos no índice SL, indicando que ali há uma quebra de relevo. Os limite entre as regiões 8 e 3 e o limite referente a cota 135 podem ser visualizados na **Figura 10**.

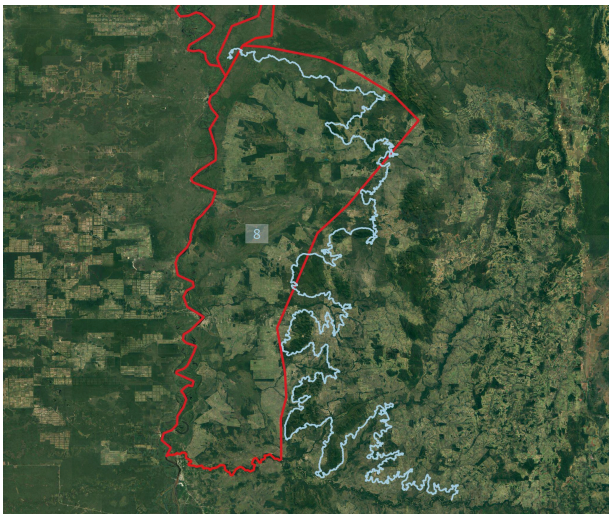

Figura 10 - Limites norte e leste da região 8.referentes a cota 135 e o rio Aquidaban em azul, comparados com os limites geomorfológicos em vermelho. (VIANA, 2024).

Com base nos resultados apresentados, pode-se observar na **Figura 11**, os limites refinados do Chaco brasileiro, conforme o procedimento e os resultados descritos e os critérios explicados. Essa figura representa a síntese da análise realizada, que combina informações de corpos hídricos, cotas de terreno e índices SL para refinar os limites do Chaco.

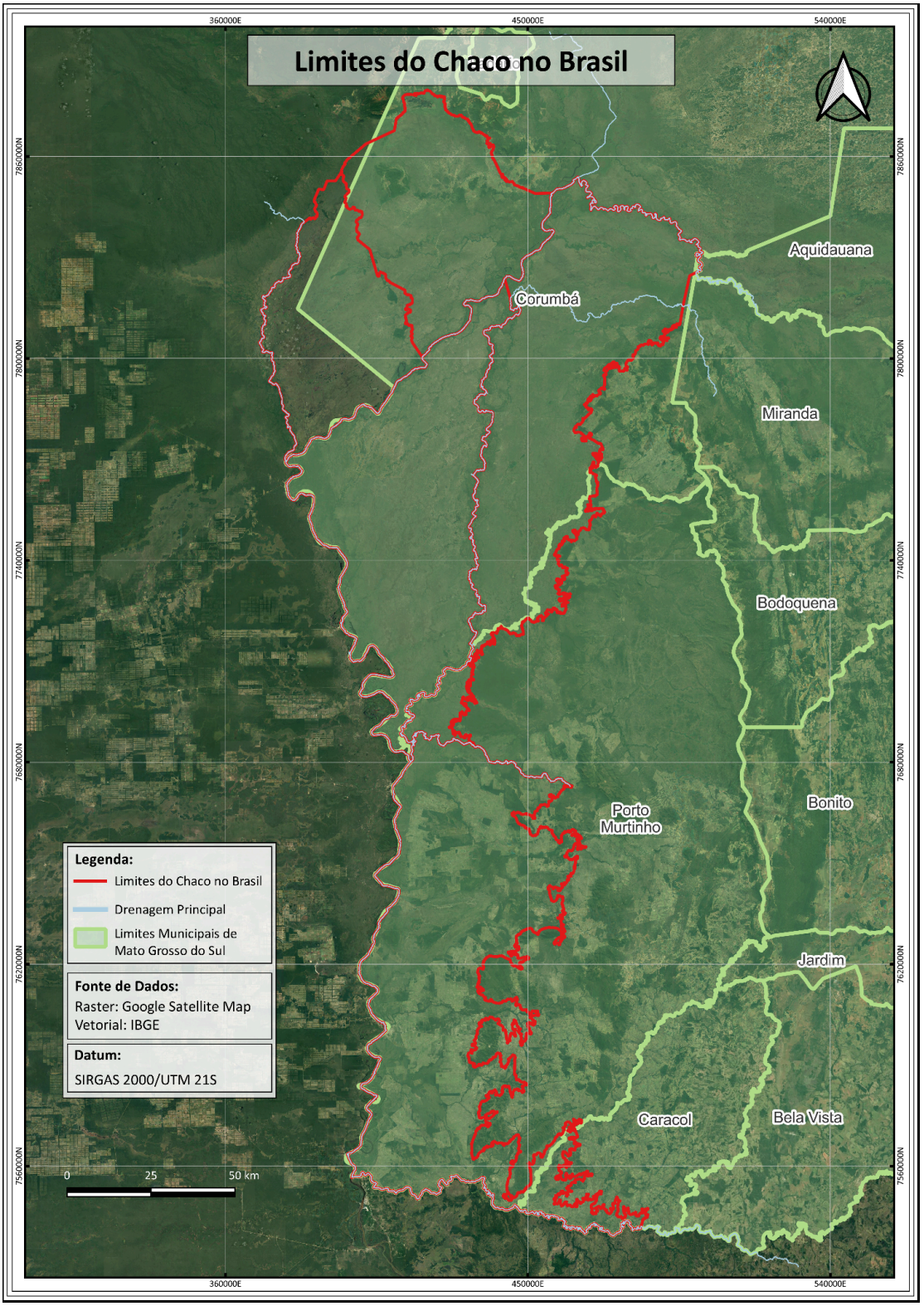

Figura 11 - Limites do Chaco no Brasil, determinados a partir do MDE FABDEM, utilizando os critérios de drenagem, quebras de relevo e índices SL.

5. Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo definir os limites do bioma Chaco brasileiro utilizando geotecnologias e dados de elevação. A metodologia empregada combinou a análise de corpos hídricos, cotas de terreno e índices SL, calculados a partir do modelo digital de elevação FABDEM e comparou os dados obtidos com os limites morfoestruturais previamente identificados por VIANA (2024).

Os resultados obtidos demonstram a eficácia da abordagem utilizada, permitindo a identificação de limites precisos e detalhados do bioma Chaco. A análise dos índices SL revelou anomalias de declividade significativas, que foram utilizadas como critério de validação para os limites estabelecidos. A combinação das informações de corpos hídricos, cotas de terreno e índices SL permitiu refinar os limites dos blocos estruturais do Chaco, identificando áreas de transição e quebras de relevo características da região. Esses resultados contribuem para o avanço do conhecimento sobre a estrutura geológica do Bioma Chaco no Brasil. A abordagem utilizada pode ser aplicada em outras regiões e biomas, contribuindo para a conservação e o manejo sustentável dos ecossistemas.

Por fim, vale ressaltar que há outros critérios além dos dados de elevação que devem ser considerados para a delimitação de um bioma, como, por exemplo, o macroclima, a fitofisionomia e solo. Esse trabalho não levou em consideração essas características, que são também essenciais para o estudo do Chaco brasileiro, e podem ser o foco para futuras pesquisas e estudos sobre o Bioma Chaco, contribuindo para a elaboração de políticas públicas e estratégias de conservação mais eficazes para essa região única e importante para a biodiversidade brasileira.

6. Referências Bibliográficas

ABDON, M. M.; SILVA, J. S. V. Fisionomias da vegetação nas subregiões do Pantanal brasileiro. São José dos Campos: INPE, 2006.

BACHMANN, L. et al. Identificación expeditiva de los principales problemas ambientales en el 'Gran Chaco' argentino. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2007.

BIELSKI, C. et al. Novel Approach for Ranking DEMs: Copernicus DEM Improves One Arc Second Open Global Topography. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 2024.

BUCHER, E. H.; HUSZAR, P. C. Sustainable management of the Gran Chaco of South America: Ecological promise and economic constraints. Journal of Environmental Management, v. 57, n. 2, p. 99-108, 1999.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. Acta Botanica Brasilica, v. 20, n. 1, p. 13-23, 2006.

ETCHEBEHERE, M. L. C. et al. Aplicação do Índice "Relação Declividade-Extensão - RDE". Revista do Instituto de Geociências - USP, v. 4, n. 2, p. 43-56, 2004.

FABDEM V1-2. Forest And Buildings removed Copernicus DEM. Disponível em <https://data.bris.ac.uk/data/dataset/s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn>. Acesso: 20/08/2024.

HACK, J. T. Interpretation of Erosional Topography. Amer. Journ. Sci, v. 258-A, 1960.

HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. Journal of Research of the U.S. Geological Survey, v. 1, n. 4, p. 421-429, 1973.

HACK, J. T. Studies of Longitudinal Stream Profiles. U.S. Geological Survey Professional Paper 294-B, 1957.

LINDSAY, J. B. WhiteboxTools Open Core. Whitebox Geospatial Inc. (Disponível em: <https://www.whiteboxgeo.com/geospatial-software/>). Acesso em 15 de junho de 2024.

NEAL, J. et al. FABDEM V1-2. University of Bristol, 2023.

PIKE, R. J.; EVANS, I.; HENGL, T. Geomorphometry: A Brief Guide. Elsevier, 2009.

POLZIN, M. A. Análise da Aplicação do Método de Hack no Estudo Geomorfológico em Afluentes do Curso Superior da Bacia Hidrográfica do Itapocu – SC - Brasil. Geografia: Ensino & Pesquisa, Santa Maria, v. 1 2, n. 2, p 59 - 66, 2008

POTT, V. J. et al. Biodiversidade nos meandros da Bacia do Apa. In: BROCH, S.; MEDEIROS, Y; SOUZA, P. R. (orgs). Pé na água: uma abordagem transfronteiriça na bacia do Apa. Campo Grande: Editora UFMS, 2008.

QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <https://qgis.org/>. Acesso em 15 de junho de 2024.

RIBEIRO, A. et al. Extração automática de bacias hidrográficas e drenagem, 2024.

REDFORD, K.H.; TABER, A. e SIMONETTI, J.A. There is more to biodiversity than the tropical rain forests. Conservation Biology, 4 p. 3, 1990.

SARTORI, Â. L. B.; SOUZA, P. R.; ARRUDA, R. C. O. Chaco: caracterização, riqueza, diversidade, recursos e interações. Repositório UFMS, 2021.

SILVA, M. P. et al. Estado de conservação do Chaco (Savana Estépica) brasileiro. Anais do Simpósio Nacional Cerrado, 2008.

SOUZA, P.R., SÚAREZ, Y.R. O contexto histórico da ocupação do Chaco brasileiro para melhor entender a biodiversidade atual. Ed Campo Grande MS: UFMS, 2021.

VIANA, J. L. (2024). Limites morfoestruturais do Chaco no Brasil. Pós-Graduação em Recursos Naturais. Repositório Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.