



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

LUIZ HENRIQUE CADAXA SILVEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DO SETOR CENTRAL DO GREENSTONE BELT DE CRIXÁS  
ATRAVÉS DA MODELAGEM GEOLÓGICA APLICADA**

Porto Alegre, 2020

LUIZ HENRIQUE CADAXA SILVEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DO SETOR CENTRAL DO GREENSTONE BELT DE CRIXÁS  
ATRAVÉS DA MODELAGEM GEOLÓGICA APLICADA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto a disciplina Projeto Temático III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Orientadores:**

Prof. Dr. Diego Marques

Prof. Dr. José Carlos Frantz

Porto Alegre, 2020

### CIP - Catalogação na Publicação

Cadaxa Silveira, Luiz Henrique  
CARACTERIZAÇÃO DO SETOR CENTRAL DO GREENSTONE BELT DE  
CRIXÁS ATRAVÉS DA MODELAGEM GEOLÓGICA APLICADA /  
Luiz Henrique Cadaxa Silveira. -- 2020.  
69 f.  
Orientadores: Diego Machado Marques, José Carlos Frantz.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) -- Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Curso  
de Geologia, Porto Alegre,  
BR-RS, 2020.

1. Modelagem Geológica. 2. Geologia Econômica. 3.  
Mineração. 4. Crixás. 5. Greenstone Belt. I. Marques, Diego  
Machado, orient. II. Frantz, José Carlos, orient. III.  
Título.

LUIZ HENRIQUE CADAXA SILVEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DO SETOR CENTRAL DO GREENSTONE BELT DE CRIXÁS  
ATRAVÉS DA MODELAGEM GEOLÓGICA APLICADA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto a disciplina Projeto Temático III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Orientadores:**

Prof. Dr. Diego Marques

Prof. Dr. José Carlos Frantz

Aprovado em 24 de novembro de 2020.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Vitor Paulo Pereira

---

Prof. Dr. Giovani Matte Cioccarri

---

Dr. Gabriel Bertolini

Porto Alegre, 2020

## AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos vão a todos os cidadãos brasileiros que financiam e acreditam na educação pública de qualidade, sem isso, este e centenas de milhares de outros trabalhos não seriam possíveis.

Desses cidadãos, gostaria de destacar alguns. Agradeço especialmente à minha mãe Carla, meu pai Luiz e minha irmã Mariana, pelo amor e apoio familiar sempre presente, por todo carinho e acolhimento diário desde meus primeiros minutos de vida, por acreditar que sou capaz e pelo incentivo para que eu pudesse chegar a meus objetivos. Agradeço também a Lydia, Helena, Carol e Rodrigo com quem pude contar com apoio, carinho e conselhos durante uma das partes mais importantes da minha vida.

Aos meus amigos, que estão presentes em meu dia a dia e que vivenciaram comigo diversos casos ao longo da graduação e da vida, Natanael Cezário, Maurício Bernardes, Bénédicte Kifumbi, Raquel Severo, Paul Ni Anang, Mateus Souza, Clarissa Sommer, Anna Luíza, Paula Neves e Renan Souza.

Agradeço a todos os professores da UFRGS pelas aulas, que auxiliam na formação de excelentes profissionais reconhecidos no mercado. Dentre esses professores destacam-se em meus agradecimentos a professora Juliana Marques, que me acolheu e incentivou desde o 1º semestre da graduação como bolsista, e os meus orientadores, Diego Marques e José Frantz, por todos os ensinamentos e oportunidades que me foram dadas nestes dois anos de preparação e confecção deste TCC.

Agradeço à SEG UFRGS Student Chapter e a Society of Economic Geologist por todas as oportunidades que me foram oferecidas durante a graduação, como saídas de campo nacionais e internacionais, palestras e eventos que foram fundamentais para a minha formação e escolha da área, onde pretendo atuar profissionalmente.

Agradeço à Empresa Datamine Software pelo oferecimento de cursos no Programa Datamine Universidades, me possibilitando uma abertura de portas para o mercado de trabalho e por ceder o *software* para execução deste trabalho. Durante dois anos de estágio na Datamine, pude conhecer o dia a dia do trabalho do geólogo na indústria mineral e aprender na prática tanto quanto aprendi na Universidade. Gostaria de agradecer especialmente ao Time de Geologia, Arthur Marques, Anielle,

Lucas Bassan, Felipe Thum, Arthur Xavier, Eliana e Franco, pelo companheirismo, confiança e aprendizado diário não só a respeito da parte técnica, mas também da parte humana.

*“[...] Quem te ensinou a odiar a textura do seu cabelo? Quem te ensinou a odiar a cor da sua pele a tal ponto que você se alveja para ficar como o branco. Quem te ensinou a odiar a forma do seu nariz e lábios? Quem te ensinou a odiar você mesmo da cabeça aos pés? Quem te ensinou a odiar os seus iguais? Quem te ensinou a odiar a sua raça tanto que vocês não querem estar perto uns dos outros? É bom você começar a se perguntar quem te ensinou a odiar o que Deus te deu.”*

*Malcolm X, (1962)*

## RESUMO

A modelagem geológica é uma maneira dinâmica de representar a Geologia em superfície e subsuperfície, aplicando dados de diferentes fontes em programas de computadores especializados em ambiente 3-D. O entendimento de um fenômeno geológico depende de um intenso estudo baseado em informações obtidas em campo, com modelos conceituais e interpretações. Modelos geológicos 3-D podem apresentar uma resposta mais próxima da realidade em questões metalogenéticas, estruturais e sua confiabilidade está relacionada com a qualidade e quantidade de dados existentes. O Distrito aurífero de Crixás, conhecido pelos seus depósitos de ouro, é uma região extensa, onde as campanhas exploratórias se concentram em alvos dos corpos de minério de escala métrica, entretanto a gênese do Greenstone Belt de Crixás (GBC) e suas formações (Fm.) geológicas possuem escala quilométrica. Nesse sentido, trabalhos de mapeamento geológico, como os da CPRM, representam as fases iniciais de pesquisas, e o modelo 3-D gerado da região pode auxiliar a responder perguntas a respeito do comportamento espacial das Fm. e estruturas presentes em subsuperfície. Diversas fases de deformação são descritas para o Distrito Aurífero de Crixás, fazendo com que simplificações na modelagem geológica sejam abordadas. Apesar disso, é possível que se chegue em modelos coerentes com pesquisas e interpretações anteriores. A partir do modelo gerado, é possível que se descreva para o GBC um cenário possível para a continuidade das rochas em subsuperfície, seja na ordem inversa da estratigrafia visualizada na porção oeste do *greenstone*, seja na interpretação de uma dobra regional para as formações do GBC.

**Palavras-chave:** Modelagem Geológica, Greenstone Belt, Crixás, Studio RM.

## ABSTRACT

Geological modeling is a dynamic way to represent surface and subsurface geology, applying data from different type of sources in specialized 3-D software programs. The understanding of a geological phenomenon depends on an detailed study based on field information, with conceptual models and interpretations. 3-D geological models can provide a more realistic response both in metallogenetic and structural issues, so that their reliability is fundamentally controlled by data quality and quantity. The gold-bearing district of Crixás, known for its gold deposits, is an extensive region, where exploratory campaigns concentrate on metric-scale ore body targets, although the genesis of the Crixás Greenstone Belt (CGB) and its geological formations (Fm.) have kilometer scale. Hence, geological mapping works at CGB, such as those of CPRM, represent the initial phases of research, and the 3-D model generated from the area can solve questions regarding the spatial behavior of subsurface Fm. and structures present in subsurfaces. Several deformation phases are described for the Crixás Auriferous District, causing simplifications in geological modeling approach. Nevertheless, it is possible to arrive at models consistent with previous research and interpretations. Based on the generated model, it is possible to describe for GBC a possible scenario for the continuity of rocks in subsurface, either in the reverse order of the stratigraphy seen in the western portion of the greenstone, or in the interpretation of a regional fold for GBC formations.

**Keywords:** Geological Modeling, Greenstone Belt, Crixás, Studio RM.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> - Localização do município de Crixás. ....  | 20 |
| <b>Figura 2</b> - Vias de acesso partindo de Brasília para se chegar aos <i>greenstone belts</i> de Goiás e a Crixás (ponto C). ....  | 21 |
| <b>Figura 3</b> - Unidades da Província Tocantins. ....   | 23 |
| <b>Figura 4</b> - Mapa estrutural indicando os domínios da Faixa Brasília Setentrional e Meridional - FBS e FBM. ....   | 24 |
| <b>Figura 5</b> - Localização (A) e compartimentação (B) do Maciço de Goiás. ....   | 25 |
| <b>Figura 6</b> - Estratigrafia dos Greenstone Belts de Goiás. ....   | 27 |
| <b>Figura 7</b> - Tabela comparativa das estratigrafias dos Greenstone Belts de Goiás. ...  | 28 |
| <b>Figura 8</b> - (A) Mapa Geológico simplificado do GBC. (B) Coluna estratigráfica simplificada do GBC. ....   | 29 |
| <b>Figura 9</b> - Afloramento da Fm. Córrego Alagadinho com textura spinifex preservada. Tamanho da escala: 20 cm. ....   | 30 |
| <b>Figura 10</b> - Afloramento da Fm. Rio Vermelho com <i>pillow lavas</i> e estruturas reliquias de vesículas preservadas. ....  | 31 |
| <b>Figura 11</b> - Detalhe de um afloramento da Fm. Ribeirão das Antas exibindo as intercalações do filito carbonoso (em preto e cinza escuro) com as metagrauvacas (em cinza). ....                            | 32 |
| <b>Figura 12</b> - Esquema da atualização da coluna estratigráfica do GBC. ....   | 33 |
| <b>Figura 13</b> - Caracterização Geológica. Fornecimento de dados, fluxo de dados, estrutura de dados e operações computacionais. ....   | 36 |
| <b>Figura 14</b> - Dados de litologia e estrutural do banco de dados da CPRM importados em ambiente SIG. ....   | 40 |
| <b>Figura 15</b> - Topografia em formato Raster da área do GBC. ....  | 41 |
| <b>Figura 16</b> - (A) Contornos topográficos. (B) TIN gerada a partir dos contornos. ....  | 44 |
| <b>Figura 17</b> - Modelo geológico de <i>wireframes</i> . (A) Modelo de <i>wireframes</i> mostrando o resultado do processo de triangulação "arames". (B) Modelo de <i>wireframes</i> formando um sólido. .... | 45 |
| <b>Figura 18</b> - Linhas de superfície topográfica utilizadas como base para a projeção de <i>wireframe</i> , que neste caso representa um plano de falha. ....  | 46 |
| <b>Figura 19</b> - Mapa de limites geológicos e de limites dos setores do GBC. ....   | 49 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 20</b> - Modelo de <i>wireframes</i> que representam as estruturas projetadas em subsuperfície ( <i>wireframes</i> em azul). A vista possui direção de aproximadamente azimute 20° com inclinação de 40°. O Norte está representado pela seta verde (eixo Y). A fim de escala, a estrutura vermelha mais ao Norte, possui 7.5 km. .... | 50 |
| <b>Figura 21</b> - Mapa de localização dos afloramentos com estruturas medidas no GBC. ....  | 51 |
| <b>Figura 22</b> - Modelo de <i>wireframes</i> das Fm. do GBC visto em planta. O Norte está representado pela seta verde (eixo Y). ....  | 52 |
| <b>Figura 23</b> - Modelo de <i>wireframes</i> das Fm. do GBC visto em perspectiva em direção de aproximadamente azimute 45° com inclinação de 20°. O Norte está representado pela seta verde (eixo Y). ....   | 52 |
| <b>Figura 24</b> - Modelo de <i>wireframes</i> das Fm. do GBC visto em perspectiva em direção de aproximadamente azimute 320° com inclinação de 20°. O Norte está representado pela seta verde (eixo Y). ....  | 53 |
| <b>Figura 25</b> - Mapa Geológico de Crixás com base nos dados de mapeamento da CPRM e orientação das seções verticais geradas.....  | 54 |
| <b>Figura 26</b> - Seção vertical A-B do setor central do GBC (L-O). Em evidência esta os mergulhos de 20° para Oeste das Fm. do <i>greenstone</i> .....   | 54 |
| <b>Figura 27</b> - Seção vertical C-D do setor central do GBC (NW-SE), deixando em evidência o mergulho das Fm. para Noroeste.....   | 55 |
| <b>Figura 28</b> - Seção vertical E-F do GBC (N-S).....  | 55 |
| <b>Figura 29</b> - Seção vertical E'-F' do GBC (N-S). ....   | 55 |
| <b>Figura 30</b> - Modelo de <i>wireframes</i> das Fm. do GBC visto em perspectiva. Vista para a direção aproximadamente azimute 310 com inclinação de 23°. O Norte é representado pela seta Y em verde (eixo Y). ....   | 56 |
| <b>Figura 31</b> - Seção vertical do GBC (seção A-B) com dobra interpretada. ....  | 56 |
| <b>Figura 32</b> - Exemplo de campanha exploratória com sondagem planejada na seção A-B. ....  | 57 |

## LISTA DE ABREVIÇÕES

|             |   |
|-------------|---|
| <b>2-D</b>  | Duas dimensões  |
| <b>2½-D</b> | Duas dimensões e meia   |
| <b>3-D</b>  | Três dimensões  |
| <b>CPRM</b> | Serviço Geológico do Brasil   |
| <b>D1</b>   | Evento deformacional compressivo 1                                  |
| <b>D2</b>   | Evento deformacional compressivo 2                                  |
| <b>D3</b>   | Evento deformacional compressivo 3                                  |
| <b>D4</b>   | Evento deformacional compressivo 4                                  |
| <b>Fm.</b>  | Formação  |
| <b>GBC</b>  | Greenstone Belt de Crixás   |
| <b>SIG</b>  | Sistema de Informação Geográfica                                    |
| <b>TIN</b>  | Rede triangulada otimizada (do inglês <i>Triangulated network</i> ) |
| <b>TTG</b>  | Tonalito-trondhjemitó-granodiorito                                  |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                     | <b>13</b> |
| 1.1 JUSTIFICATIVA.....                         | 15        |
| 1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....            | 16        |
| 1.3 OBJETIVOS.....                             | 18        |
| 1.4 PREMISSAS E HIPÓTESES .....                | 18        |
| <b>2. LOCALIZAÇÃO.....</b>                     | <b>20</b> |
| <b>3. ESTADO DA ARTE.....</b>                  | <b>22</b> |
| 3.1 GEOLOGIA REGIONAL.....                     | 22        |
| <b>3.1.1 Província Tocantins.....</b>          | <b>22</b> |
| <b>3.1.2 Faixa Brasília .....</b>              | <b>23</b> |
| <b>3.1.3 Maciço de Goiás .....</b>             | <b>24</b> |
| <b>3.1.4 Os Greenstone Belts de Goiás.....</b> | <b>26</b> |
| 3.2 GEOLOGIA LOCAL.....                        | 28        |
| <b>3.2.1 Greenstone Belt de Crixás .....</b>   | <b>28</b> |
| <b>3.2.2 Formação Córrego Alagadinho.....</b>  | <b>29</b> |
| <b>3.2.3 Formação Rio Vermelho .....</b>       | <b>30</b> |
| <b>3.2.4 Formação Ribeirão das Antas.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>3.2.5 Formação Córrego Geral.....</b>       | <b>32</b> |
| <b>3.2.6 Evolução Deformacional .....</b>      | <b>33</b> |
| <b>4. METODOLOGIA.....</b>                     | <b>36</b> |
| 4.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS.....                   | 37        |
| <b>4.1.1 Dados de bibliografia.....</b>        | <b>37</b> |
| <b>4.1.2 Dados de topografia.....</b>          | <b>37</b> |
| <b>4.1.3 Dados de mapeamento .....</b>         | <b>38</b> |
| <b>4.1.4 Dados estruturais.....</b>            | <b>39</b> |
| <b>4.1.5 Dados de litologia .....</b>          | <b>39</b> |
| 4.2 TRATAMENTO DOS DADOS.....                  | 40        |
| <b>4.2.1 Dados de topografia.....</b>          | <b>41</b> |
| <b>4.2.2 Dados de litologia .....</b>          | <b>42</b> |
| <b>4.2.3 Dados estruturais.....</b>            | <b>42</b> |
| 4.3 MODELAGEM GEOLÓGICA .....                  | 43        |
| <b>5. RESULTADOS .....</b>                     | <b>48</b> |
| 5.1 MODELO GEOLÓGICO E ESTRUTURAL.....         | 49        |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.2 DISCUSSÕES .....                          | 56        |
| <b>6. CONCLUSÕES .....</b>                    | <b>59</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                       | <b>61</b> |
| <b>ANEXO 1 - Arquivo de Estruturas.....</b>   | <b>65</b> |
| <b>ANEXO 2 - Arquivo de Afloramentos.....</b> | <b>67</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A representação da Geologia, tradicionalmente, é feita através de mapas, onde os limites das rochas que afloram no terreno são desenhados em seções horizontais (planta). Nesse sentido, trabalhos de mapeamento são fundamentais para limitar os contatos rochosos e identificar as transições de litologias e seu comportamento em subsuperfície (GROSHONG, 2006). Outra forma de representação da Geologia pode ser demonstrada através de seções verticais; nestes, além das informações de mapeamento, são fundamentais as informações estruturais e a amostragem em profundidade, entre outros. Em ambas maneiras a interpretação dos geólogos é de extrema importância, pois amostragens e mapeamentos de uma região são limitados pela escala de trabalho utilizada.

Mapas e seções verticais, individualmente, representam informações do espaço em duas dimensões (2-D), e quando adicionadas uma em relação a outra podem ser chamadas de duas dimensões e meia ( $2\frac{1}{2}$ -D), o que compõe uma informação muito mais próxima da realidade em três dimensões (3-D) (GROSHONG, 2006). Atualmente, com o crescente uso de tecnologias computacionais aplicadas à Geologia, tornou-se essencial a confecção de modelos geológicos e modelos estruturais em 3-D. Esses modelos, completamente 3-D, permitem interpretações substancialmente melhores e são de fácil compartilhamento com o público (GROSHONG, 2006).

Modelos geológicos são amplamente aplicados na indústria da mineração, isso porque estes possibilitam dimensionar forma, volume, tonelagem e teor dos corpos de minério e suas encaixantes a partir de um conjunto de amostras (ROLO, 2017). Posteriormente, este modelo é utilizado na avaliação de recursos e reservas e planejamento de lavra. Nesse sentido, o entendimento da Geologia e a modelagem são fundamentais e primários dentro do fluxograma de trabalho em recursos minerais. A falta de estudos geológicos leva a tomadas de decisões erradas e interpretações equivocadas, logo, a modelagem será comprometida e pode inviabilizar um empreendimento ou até mesmo levar ao abandono. Já o uso de modelos geológicos 3-D em escala regional é escasso. Esses modelos, integrando informações de diferentes fontes (mapeamento, estrutural, geoquímicos entre outros) podem gerar uma nova interpretação de fenômenos naturais, tanto no que diz respeito a sua gênese, quanto a processo posteriores.

No Estado de Goiás há a presença dos *greenstone belts*, sendo de grande interesse a mineração de ouro. São cinco *greenstone belts*, que compreendem cerca de 20% do segmento crustal arqueano do Maciço de Goiás, sendo dois a Sul (Faina e Serra da Santa Rita) e três a Norte (Pilar de Goiás, Guarinos e Crixás).

O início da exploração do ouro na região de Crixás começa no Brasil colonial, quando um grupo de paulistas denominados Bandeirantes saíram de São Paulo em direção aos sertões goianos, ao comando do filho de Anhanguera, Bartolomeu Bueno da Silva (o segundo Anhanguera), no ano de 1722. Desde então, a atividade garimpeira de ouro e pedras preciosas tomou volume, deixando a região de Crixás conhecida pelo seu potencial minerário

Apenas o Distrito Aurífero de Crixás é considerado a sexta maior reserva de ouro do Brasil, com até 70 toneladas de ouro e um teor médio de 12 gramas de ouro por tonelada de rocha (JOST *et al.*, 2010). Em consequência disto, é de grande interesse científico e econômico o entendimento espacial do Greenstone Belt de Crixás (GBC).

Vários trabalhos já foram realizados na região, incluindo trabalhos de alunos de graduação e pós-graduação da UFRGS, especialmente em áreas de mineração inseridas no GBC, na busca de maior entendimento dos processos que deram origem a um dos maiores distritos auríferos do Brasil. Esses trabalhos buscam caracterizar os corpos de minério afim de entender a formação da mineralização, com uma grande escala de detalhes para a região, focados em estudos petrográficos e geoquímicos, como a caracterização dos corpos Pequizão, Sobieziak (2011), Ingá, Castoldi (2015), Mangaba, Souza (2018) e Flanboyant, Souza (2019).

A partir daí, verificou-se a necessidade de um maior entendimento da ocorrência e da formação do fenômeno geológico, não apenas em escala de corpos de minério, mas também em escala regional do GBC. Uma maior compreensão espacial regional pode auxiliar na exploração de novos alvos em campanha de exploração e prospecção mineral, pois esses modelos são construídos com a finalidade de entender o comportamento e variação espacial das rochas hospedeiras dos corpos de minério.

Para construção de tais modelos, é essencial que o geólogo responsável pela modelagem tenha acesso a uma maior quantidade de dados possíveis, sejam de mapeamento, estruturais, sondagem, mineralogia, química mineral, geofísica,

geoquímica. Cada um destes dados pode ser melhor aplicado dependendo da escala do modelo com que se trabalha, regional ou local.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A exploração mineral tem por finalidade a descoberta de novos depósitos e/ou novos alvos de interesse econômico. As características espaciais de cada um dos depósitos são um guia para a exploração dos recursos de forma mais lucrativa. Ao longo das pesquisas e da vida útil da mina, diversos dados são recolhidos a partir de trabalhos de campo e laboratoriais. Podem ser aplicados em diferentes escalas e em diferentes etapas de pesquisas, trabalhos em afloramentos, levantamentos geofísicos e geoquímicos de solo, escavações de trincheiras e galerias, além de serem úteis para a execução de sondagem em corpos de minério previamente identificados em superfície e em seu entorno, análises químicas e físicas de testemunhos de sondagem e trincheiras, ensaios de beneficiamento, entre outros.

A confecção de modelos geológicos 3-D, com base em informações coletadas provenientes das pesquisas citadas acima, é uma etapa fundamental dentro do fluxograma de trabalho dos geólogos de mina e geólogos de exploração. Os modelos geológicos são a base de referência para o planejamento e execução dos projetos de engenharia e, além disso, trazem informações valiosas para a sua avaliação de economicidade do projeto (RESERA, 2014).

A principal causa do fracasso em empreendimentos de mineração é a falta de conhecimento geológico do alvo, a respeito da posição, forma e volume dos corpos rochosos (ROLO, 2017), além dos erros de interpretação. Todas essas questões são respondidas quando há uma boa coleta de informações e estas são aplicadas na construção do modelo geológico e, assim, descrevem extensão, forma e volume de unidades geológicas modeladas no espaço 3-D (ROLO, 2017). Logo, torna-se importante que os depósitos minerais sejam quantificados e descritos no espaço 3-D para que seja possível o planejamento da exploração de alvos com menores quantidades de erros associados, tornando-a mais lucrativa.

Empresas de mineração trabalham na região de Crixás produzindo modelos 3-D dos alvos de interesse com uma grande escala de detalhe e, muitas vezes, esses alvos são tratados de forma individual, sem conectividade e desconsiderando eventos

geológicos que os formaram; assim, esta atitude pode ocasionar a omissão de novos alvos de exploração. Sendo o Distrito Aurífero de Crixás mundialmente conhecido pelo seu potencial metalogenético (JOST *et al.*, 2010) e pelas grandes reservas de ouro exploradas desde o século XVIII, torna-se essencial a confecção de modelos 3-D do Distrito.

As pesquisas na região trazem informações importantes em relação a formação dos depósitos de ouro no Distrito Aurífero de Crixás, no que diz respeito à caracterização metalogenética, estrutural e mineralógica. Este trabalho apresenta o modelo geológico que descreve a extensão e forma do setor central das Fm. geológicas do GBC, etapa crucial para futuras avaliações do Distrito mineiro como um todo e não apenas em escala de detalhe dos corpos de minério; sendo assim, um trabalho pioneiro na região.

Este trabalho possibilita um maior entendimento das Fm. do GBC em subsuperfícies, o que ainda é motivo de debate pela falta de informações em profundidade e sua complexidade geológica submetida a tensões, deformações, metamorfismo, intrusões ao longo de tempo geológico (JOST; FORTES, 2001).

## 1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

É consenso dos pesquisadores de que o GBC possui grande complexidade geológica e estrutural, onde Massucato (2004) e Carvalho (2005) descreveram para região pelo menos quatro eventos deformacionais compressivos. Em consequência a tanta deformação, em alguns locais do GBC as rochas estão dobradas o bastante para inverterem a estratigrafia, fato que foi observado por Yamakoa e Araújo (1988). Ainda assim, a complexidade geológica da região é grande o suficiente para que, após décadas de pesquisas dedicadas ao GBC, ainda permaneçam incertezas a respeito de sua formação, forma, volume e conteúdo metalífero.

As pesquisas internas das empresas na região através de programas agressivos de exploração com centenas de quilômetros de amostragem de testemunhos de sondagem, foram capazes de aumentar o tempo de vida produtiva do Distrito. Modelos geológicos computacionais foram utilizados para ampliar os recursos e reservas dos empreendimentos e continuar a produção por mais de 30 anos, desde sua descoberta. A grande maioria dos dados de sondagem para a construção desses

modelos não são de acesso ao público externo, respeitando a confidencialidade da informação.

Tradicionalmente, pesquisadores das Universidades brasileiras realizam parcerias com as empresas da região para que seja desenvolvido, em conjunto, dados sobre o GBC.

Contudo, com o objetivo de maior economicidade nos programas de exploração, todas as empresas concentram esforços para amostrar zonas de interesse com altas concentrações de minério, justificados pelo alto preço do metro amostrado em profundidade. Nesse sentido, são construídos modelos geológicos com uma escala de maior detalhe (escala de corpo de minério) e não em escala regional do GBC, por exemplo, que possui mais de 15 km de extensão N-S e mais de 6 km largura Leste-Oeste.

Os trabalhos de mapeamento geológico do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e trabalhos de mapeamento geológico básico das Universidades podem produzir dados (com custos reduzidos quando comparados a custos de sondagem) em escala regional em algum alvo de interesse a ser estudado. Esses dados (públicos) quando tratados e filtrados podem vir a compor modelos computacionais 3-D das litologias mapeadas. Em pesquisas acadêmicas desprovidas de dados de subsuperfície e modelos computacionais é frequentemente apresentado apenas seções geológicas verticais bidimensionais. Essas seções, geralmente interpretadas a mão livre, não possuem fidelidade coesa com a real geometria das rochas e não incluem informações como volume e profundidade.

Este trabalho visa a criação de um modelo 3-D da região com base em uma interpretação feita a partir da compilação das informações de mapeamento geológico e estrutural de domínio público, para que a partir desse modelo possam ser selecionadas seções geológicas bidimensionais em qualquer parte do setor central do GBC (L-O N-S, NW-SE, NE-SW). O modelo gerado nesta pesquisa não se trata do entendimento da distribuição dos corpos de minério, pois não há informações nesta escala, e sim da distribuição das Fm. geológicas em que os corpos de minério estão contidos.

### 1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo avançar no entendimento da distribuição espacial das Fm. do GBC em subsuperfície e construir um modelo geológico 3-D do setor central do GBC através de dados de domínio público, utilizando o *software* de modelamento geológico - Studio RM da empresa Datamine Software.

Este trabalho busca modelar as três Fm. do GBC (Fm. Córrego Alagadinho, Fm. Rio Vermelho, Fm. Ribeirão das Antas) em três dimensões a partir de dados estruturais, dados de mapeamento e pesquisas acadêmicas sobre a evolução estrutural da região de Crixás.

Esse modelo possibilita a geração de seções geológicas bidimensionais em qualquer direção do GBC, podendo ser incluído informações de profundidade e idade relativa; além da observação de correlações do modelo gerado com pesquisas anteriores desprovidas de modelos geológicos 3-D.

### 1.4 PREMISSAS E HIPÓTESES

Para o desenvolvimento deste trabalho foram adotadas as seguintes premissas:

- (I) A estratigrafia do GBC que consiste em três Fm., denominada de “Grupo Crixás” por Jost e Oliveira (2001) da base para o topo, a saber: Fm. Córrego Alagadinho (metakomatiitos), Fm. Rio Vermelho (metabasaltos) e Fm. Ribeirão das Antas (filitos carbonosos intercalados com dolomitos e grauvacas);
- (II) A redefinição da Fm. Ribeirão das Antas, subdividida em Fm. Ribeirão das Antas (filitos carbonosos intercalados com dolomitos e grauvacas), na base e Fm. Córrego Geral (grauvacas) no topo, proposta por Jost *et. al.* (2019), não foi abordada no modelo, pois esta subdivisão era posterior à produção dos dados utilizados;
- (III) Foram utilizados para o modelamento geológico do setor central do GBC o banco de dados da CPRM, do trabalho de mapeamento no Estado de Goiás, como fonte principal. Este banco de dados está disponível para

*download* no *site*<sup>1</sup> da CPRM. Além desses, foram utilizados trabalhos anteriores realizados na região de Crixás por diversos pesquisadores citados neste trabalho;

- (IV) Para a construção do modelo geológico foi utilizado o *software* de modelagem geológica - Studio RM, onde foram abordados métodos de modelagem tradicional (explícitas);
- (V) Fatores complicadores do desenvolvimento de modelos geológicos estão intimamente ligados a ciclos de atividades tectônica, que causam flambagem, dobramentos, cisalhamento, falhas e no caso do GBC inversão estratigráfica, o que força o modelador a realizar simplificações significativas (HOULDING, 2012);
- (VI) Dados estruturais subamostrados exigem significativas inferências, principalmente no que diz respeito a falta de dados em subsuperfície (HOULDING, 2012).

Com base nas premissas citadas acima, no banco de dados da CPRM e em pesquisas anteriores, formulou-se as seguintes hipóteses de trabalho: A espessura estimada da Fm. Córrego Alagadinho varia entre 900 e 500 metros, na Fm. Rio vermelho a é estimada em 300 metros e a Fm. Ribeirão das Antas é estimada em 400 metros; dados estruturais sugerem que o GBC passou por pelo menos quatro eventos deformacionais, sendo que o primeiro evento deformacional gerou dobras regionais isoclinais com um dos flancos invertido; o evento seguinte gerou falhas de empurrão de baixo ângulo e dobras recumbentes onde a concentração dos teores está na charneira dessas sobras e ao longo do mergulho dos flancos; os outros dois eventos deformacionais compressivos na região não são considerados no modelo por serem posteriores a mineralização.

---

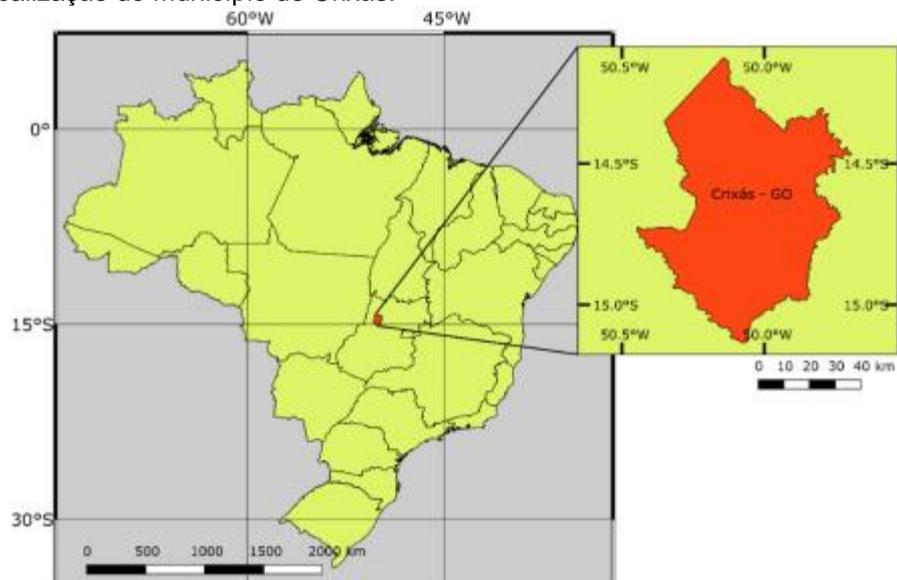
<sup>1</sup> Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/>. Acesso em: 20 mar. 2020.

## 2. LOCALIZAÇÃO

O GBC está localizado na área rural do município de Crixás, Noroeste do Estado de Goiás (Figura 1). O município encontra-se a aproximadamente 387 km de Brasília e 321 km de Goiânia.

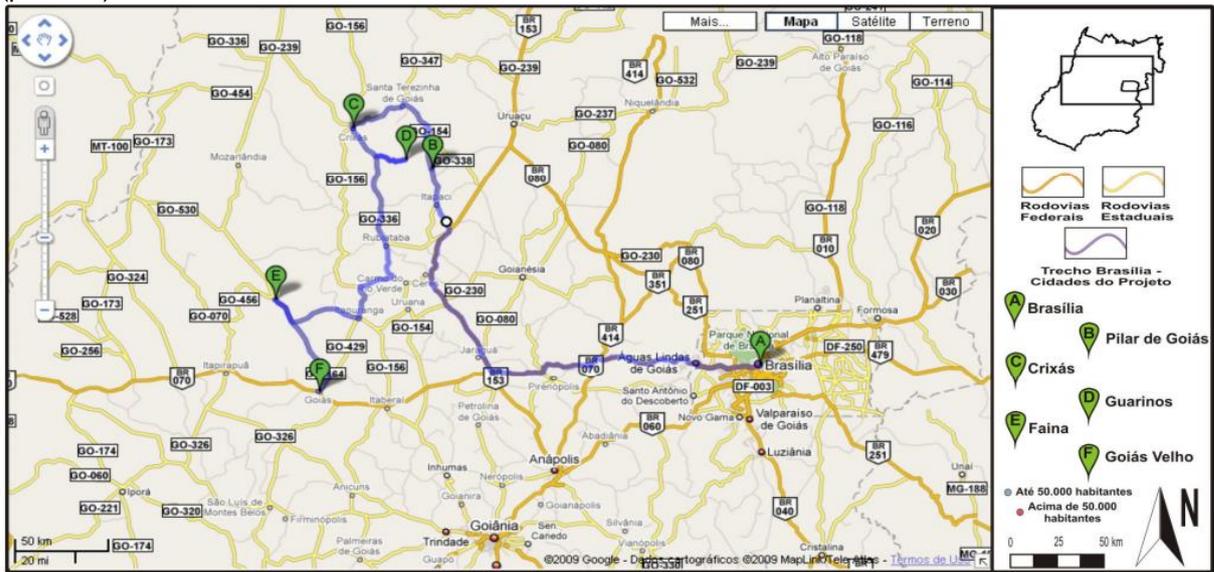
Para se chegar à Cidade de Crixás, partindo de Brasília, deve-se tomar a rodovia federal BR-070 sentido Oeste, que liga Brasília a Goiás Velho. Antes de chegar a Goiás Velho, parte-se para a rodovia federal BR-153 sentido Noroeste e, em seguida, pega-se a rodovia estadual GO-154 que passa por Itapaci, Pilar de Goiás e Santa Tereza de Goiás, chegando por fim em Crixás. A Figura 2 apresenta as principais rodovias e rotas para se chegar em Crixás e em municípios vizinhos.

**Figura 1** - Localização do município de Crixás.



**Fonte:** Extraído de Souza (2019).

**Figura 2** - Vias de acesso partindo de Brasília para se chegar aos *greenstone belts* de Goiás e a Crixás (ponto C).



Fonte: Extraído de Sousa (2011).

### **3. ESTADO DA ARTE**

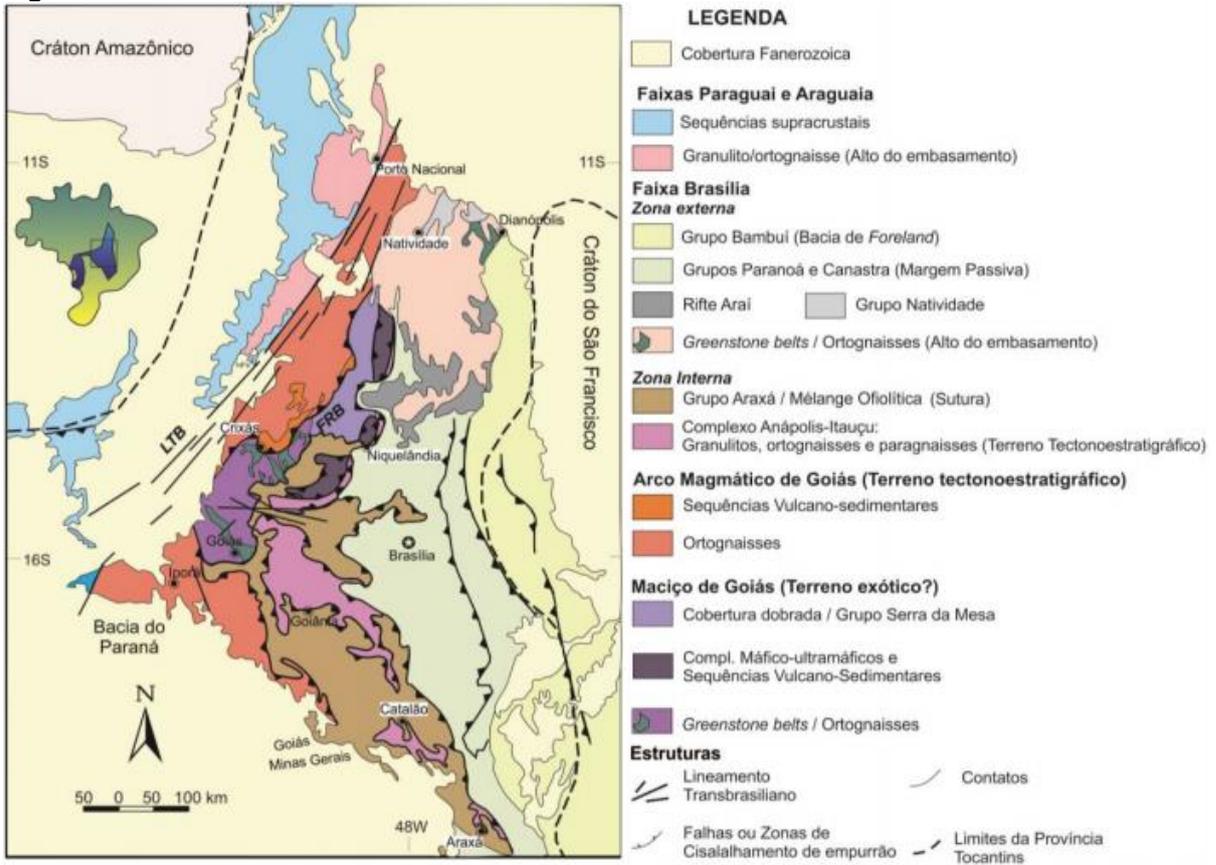
Este capítulo trás o referencial teórico usado para construção do modelo geológico do setor central do GBC. O objetivo é apresentar o contexto geológico e geotectônico da no qual se insere o objeto de estudo deste trabalho. Começando pelas províncias mais abrangentes em escala regional e posteriormente aumentando a escala de detalhe para as Fm. do GBC.

#### **3.1 GEOLOGIA REGIONAL**

##### **3.1.1 Província Tocantins**

Por ser um país com dimensões continentais, a Geologia do Brasil foi dividida em províncias estruturais, Almeida (1968) e Almeida e colaboradores (1977) aplicaram este conceito em mais de dez províncias, separando-as por limites geologicamente bem definidos ou por limites convencionais. A província Tocantins (Figura 3), localizada no Brasil Central, compreende a Faixa Brasília, formada a Oeste do Cráton São Francisco. A Faixa Paraguai-Araguaia foi formada ao longo da margem continental do paleocontinente amazônico e o Arco Magmático de Goiás formado pela acreção de crosta juvenil durante a amalgamação do Gondwana e o Maciço de Goiás (PIMENTEL, 2016), onde se localiza a área de estudo.

**Figura 3** - Unidades da Província Tocantins.



Fonte: Extraído de Santos (2014).

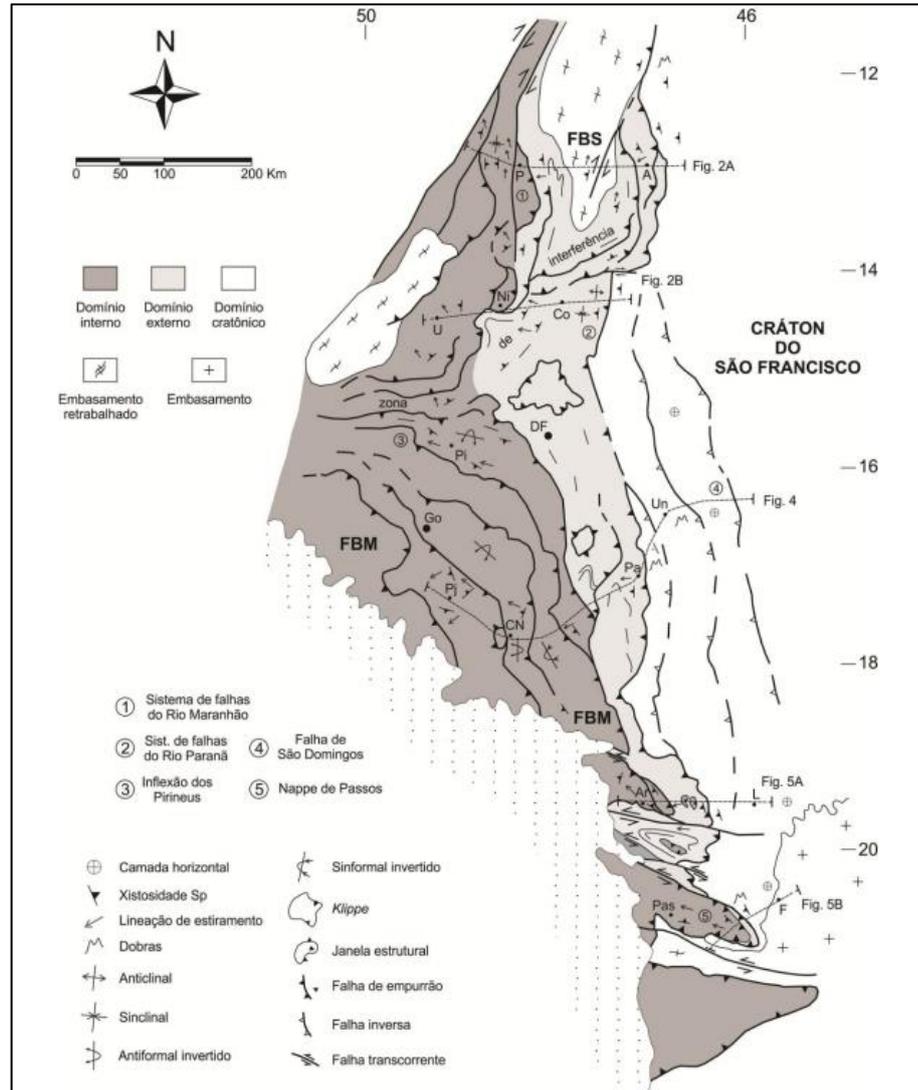
### 3.1.2 Faixa Brasília

A Faixa Brasília é o mais completo e complexo orógeno neoproterozóico do Oeste do Gondwana (PIMENTEL, 2016). Compreende um cinturão de dobramentos que ocorre na borda do Cráton São Francisco, com aproximadamente 1.200 km de extensão N-S e 300 km de largura L-O. Para a formação da Faixa Brasília, houve envolvimento colisional de três unidades tectônicas, a Norte (Crátoms Amazônico e São Francisco) e a Sul (Crátoms Paranapanema e São Francisco). Fuck (1994) subdividiu a Faixa Brasília em três compartimentos (Figura 4): (A) Domínio Cratônico, (B) Faixa Brasília - Domínio Externo e (C) Faixa Brasília - Domínio Interno.

O Domínio Cratônico consiste em rochas arqueanas-paleoproterozoicas do Cráton São Francisco, exposto em meio a coberturas pertencentes aos Grupos Paranoá e Bambuí (VALERIANO *et al.*, 2004). O Domínio Externo da Faixa Brasília é composto pelas rochas dos Grupos Paranoá, Canastra e Arai, representados pelas Fm. Vazante, Ibiá, Paracatu, Minaçu e Ticunzal, todas formadas em ambiente de

margem passiva onde, subordinadamente, ocorrem fragmentos de embasamento arqueano-paleoproterozoico. O Domínio Interno da Faixa Brasília é constituído pelas rochas do Grupo Araxá e melanges ofiolíticas associadas, pelo Complexo Anápolis e granitoides associados (QUEIROZ, 2000).

**Figura 4** - Mapa estrutural indicando os domínios da Faixa Brasília Setentrional e Meridional - FBS e FBM.



Fonte: Extraído de Uhlein *et al.*, (2012).

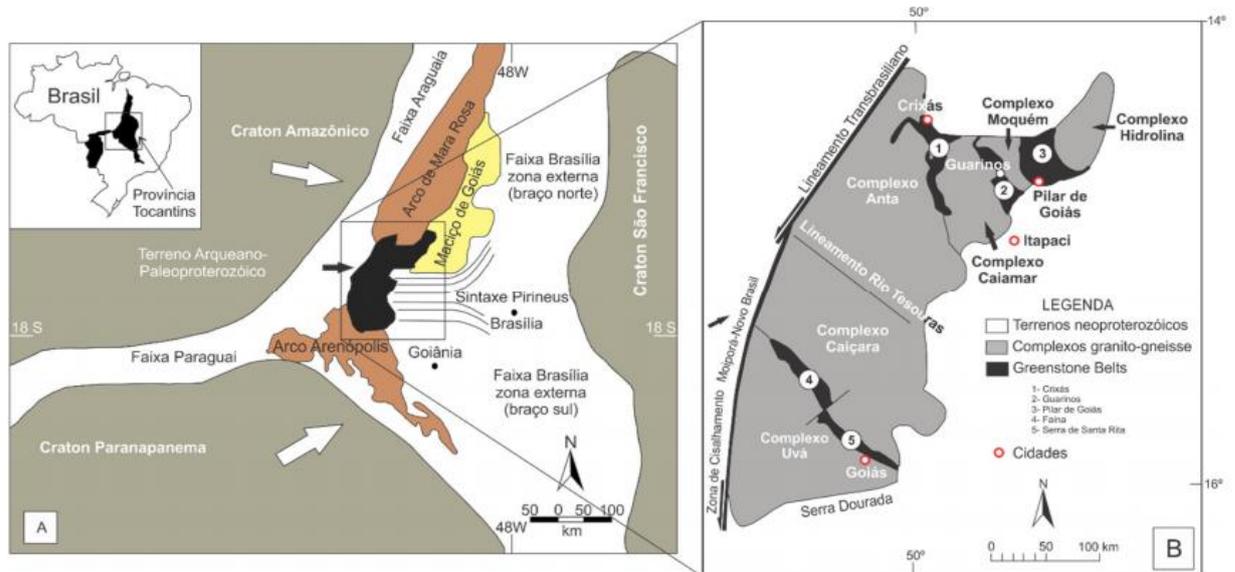
### 3.1.3 Maciço de Goiás

O Maciço de Goiás (Figura 5) constitui um micro-continente de embasamento arqueano-paleoproterozoico e é composto por granitos-*greenstone belts*, complexos

máficos-ultramáficos e sequências vulcanossedimentares de fácies granulito (QUEIROZ, 2000).

Trata-se de um terreno exótico orientado NE-SW com cerca de 50.000 km<sup>2</sup>, de forma oval, inserido tectonicamente na Faixa Brasília (PIMENTEL, *et al.*, 2000). Cerca de 80% do terreno é composto por associações de tonalito-trondhjemito-granodiorito (TTG), representados pelos Complexos Anta, Caiamar, Moquém, Hidrolina, Caiçara e Uvã e os 20% restantes do terreno são compostos por *Greenstone Belts* (Crixás, Guarinos, Pilar de Goiás, Faina e Serra da Santa Rita). O contato entre os *greenstone belts* e os complexos possuem limites verticais a subverticais, em decorrência da tectônica arqueana, num arranjo de domo-quilha (QUEIROZ, 2000).

**Figura 5** - Localização (A) e compartimentação (B) do Maciço de Goiás.



**Fonte:** Extraído de Castoldi (2015), modificado de Pimentel *et al.*, (2000).

O terreno arqueano-paleoproterozóico encontra-se na adjacência da Sintaxe dos Pirineus a Leste, e é envolvido por rochas de idades variadas (JOST *et al.*, 2014). A Norte, limita-se pelo Arco de Mara Rosa. A Noroeste o Maciço está truncado pelo Lineamento Transbrasiliano (N30°E), estrutura que se estende desde o litoral do Ceará até Sudoestes do Estado do Mato Grosso. A Sudoeste, o maciço está em contato com os ortognaisses do Bloco Fazenda Nova. Ao Sul e ao Sudeste, encontra-se sotopostos pelas rochas metassedimentares da sequência Serra Dourada e do Grupo Araxá, respectivamente. No Leste e Noroeste do Maciço de Goiás ocorrem as rochas metassedimentares do grupo Serra da Mesa (JOST *et al.*, 2014).

### 3.1.4 Os Greenstone Belts de Goiás

Inserido no Maciço de Goiás, há ocorrência de cinco *greenstone belts*, três a Norte e dois a Sul. Com comprimento N-S variando entre 40-100 km e largura com média de 6 km (PIMENTEL *et al.*, 2000), possuem geometria linear, curva, ondulada e cúspide devido à variação da natureza dos contatos entre os complexos granito-gnaissicos em cada um dos *greenstone belts*.

No extremo Norte do Maciço de Goiás ocorrem os GBC, Guarinos e Pilar de Goiás, sucessivamente no sentido Oeste para Leste. Todos estão orientados aproximadamente N-S e são separados pelos Complexos Anta, Caiamar, Moquém e Hidrolina. No extremo Sul do Maciço ocorrem os *Greenstone Belts* de Faina e Serra da Santa Rita. Ambos orientados NW-SE, separados por uma falha de transcorrente NE (RESENDE, 1999) e limitados pelos Complexos Uvá a Sul e Caiçara a Norte.

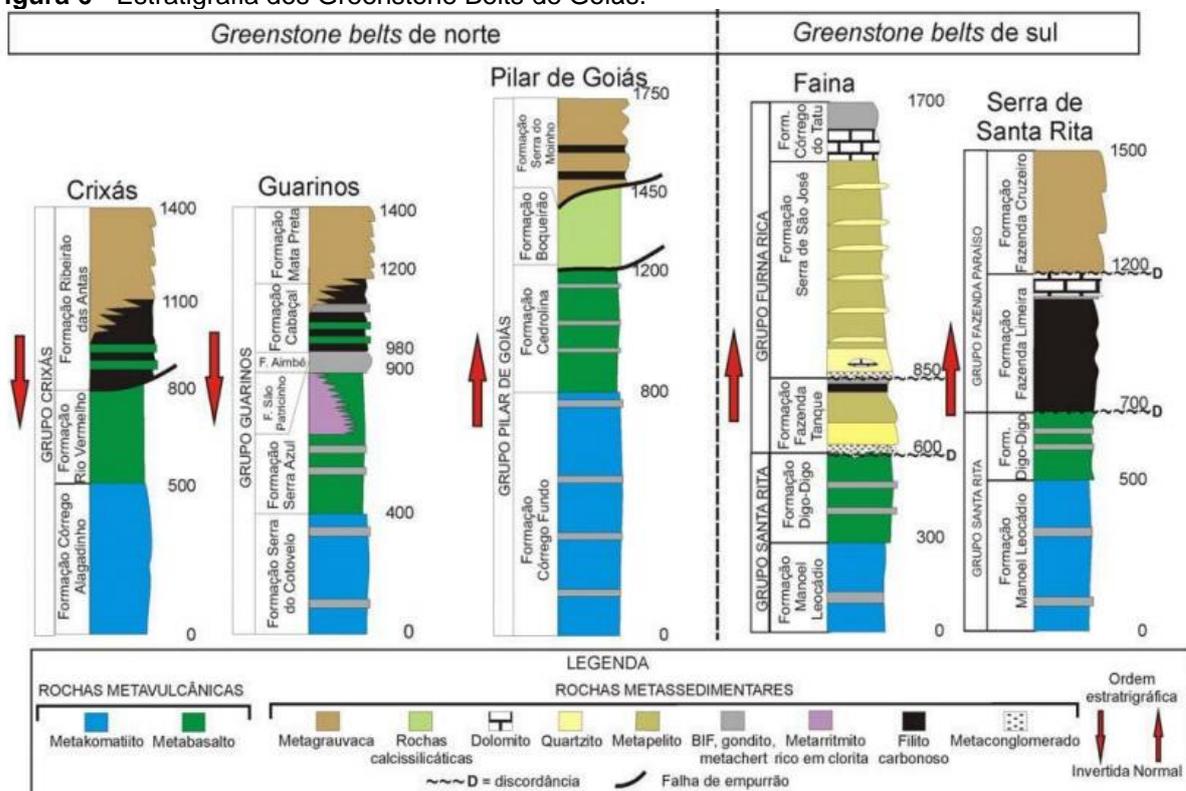
Nos *Greenstone Belts* de Guarinos e Pilar de Goiás a geometria varia entre linear e curva. Contatos Lineares são formados por zonas de cisalhamento de alto mergulho; já os contatos curvos são formados pelos soerguimentos dos domos gnaissicos circundantes. O GBC, com sua geometria em cúspide, foi resultado de interferências dômicas ou intrusões polidiapíricas (QUEIROZ, 2000). Com geometria irregular, a forma dos *Greenstone Belts* de Faina e Serra da Santa Rita é resultado de falhas de empurrão de baixo ângulo, combinado com intrusões. Queiroz (2000) discute que, em geral, a geometria estreita dos *greenstone belts* é resultado da arquitetura tectônica de domo-quilha do Arqueano, em virtude dos *greenstones* estarem confinados entre os complexos granito-gnaissicos.

Apesar de semelhantes, as sequências estratigráficas dos *Greenstone Belts* de Goiás são tratadas separadamente, como grupos diferentes e independentes entre si. Porém, todos os *greenstones* possuem em porção basal rochas metavulcânicas, seguido de rochas metassedimentares no topo (JOST; DE OLIVEIRA, 1991), onde as diferenças entre os *greenstones* são mais evidentes. De maneira geral, da base para o topo, ocorrem metakomatiitos, seguidos por basaltos toleíticos e rochas metassedimentares. Todas as sequências possuem deformação associada e metamorfismo, que varia de xisto verde a anfibolito inferior (JOST; DE OLIVEIRA, 1991; PIMENTEL *et al.*, 2000). Nos metakomatiitos é possível observar textura *spinifex* preservada e nos metabasaltos, *pillow lavas*. Os *Greenstone Belts* da porção

Norte do Maciço de Goiás possuem estratigrafia inversa, entretanto, os da porção Sul apresentam estratigrafia normal.

A Figura 6, extraída de Jost *et. al.* (2014), demonstra a proposta de organização da estratigrafia dos Greenstone Belts de Goiás, que começou nos anos 70 por Danni, Dardene e Fuck (1981), Danni, Fuck e Leonardo (1982), Danni *et al.*, (1986), Resende *et al.*, (1998), Sabóia *et al.*, (1979), Castro e Magalhães (1984) e Jost e Oliveira (1991). Queiroz (2000) sintetizou os litotipos e as Fm. dos Greenstone Belts de Goiás em uma tabela, demonstrada na Figura 7.

**Figura 6 -** Estratigrafia dos Greenstone Belts de Goiás.



Fonte: Extraído de Jost (2014).

**Figura 7** - Tabela comparativa das estratigrafias dos Greenstone Belts de Goiás.

| Greenstone belt (GB) |                      | Litotipos                   |                       |                     |   |
|----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------|---|
|                      |                      | Vulcânicas Ultramáficas     | Vulcânicas Máficas    | Vulcânicas Félsicas | Sedimentar  |
| Porção Norte         | GB de Crixás         | Formação Córrego Alagadinho | Formação Rio Vermelho |                     | Formação Ribeirão das Antas                             |
|                      | GB de Guarinos       | Formação Serra do Cotovelo  | Formação Serra Azul   |                     | Formações São Patricinho, Aimbé e Cabaçal               |
|                      | GB de Pilar de Goiás | Formação Córrego Fundo      | Formação Credolina    |                     | Formações Boqueirão e Serra do Moinho                   |
| Porção Sul           | GB de Santa Rita     | Formação Manoel Leocádio    | Formação Digo-Digo    | Membro Superior     | Formações Fazenda Limeira e Fazenda Cruzeiro            |
|                      | GB de Faina          | Formação Manoel Leocádio    | Formação Digo-Digo    |                     | Formações Fazenda Tanque, Serra São José e Córrego Tatu |

**Fonte:** Extraído de Castoldi (2015); Modificado de Queiroz (2000).

### 3.2 GEOLOGIA LOCAL

Este sub-capítulo tem por objetivo descrever as principais características das Fm. do GBC, a sequência vulcano-sedimentar modelada, além de apresentar o entendimento atual sobre a evolução estrutural que deu origem a morfologia do *greenstone*.

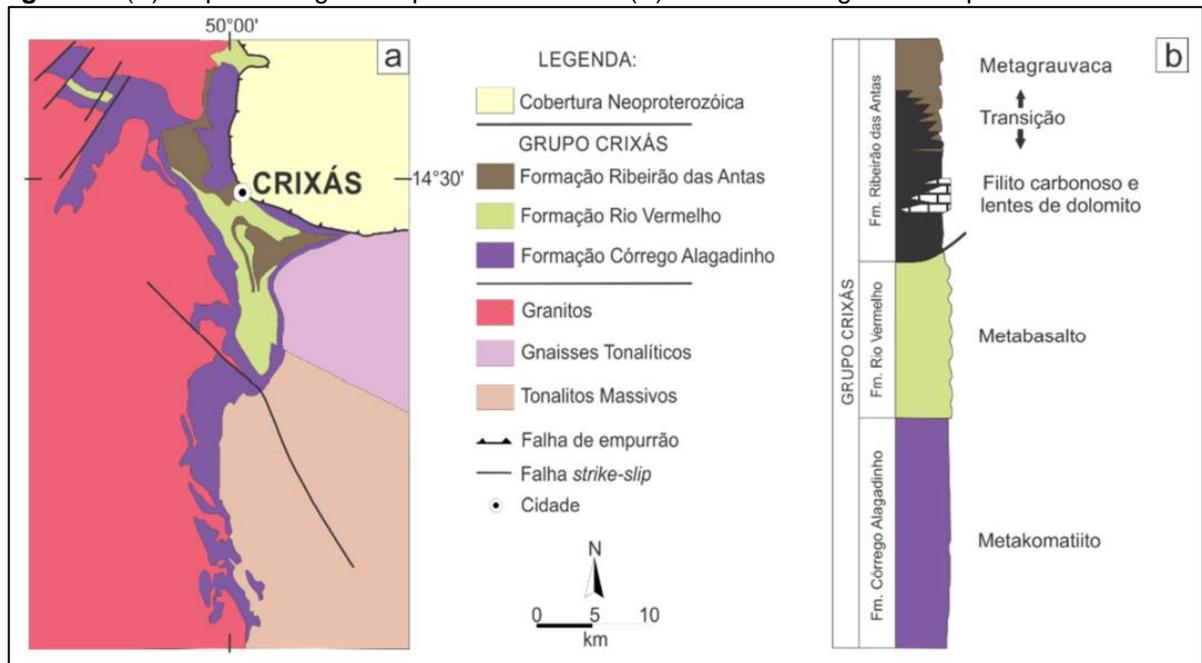
#### 3.2.1 Greenstone Belt de Crixás

O GBC (Figura 8 e Figura 9) constitui uma sequência de rochas de origem vulcano-sedimentar pré-cambriana, metamorfozada na fácies xisto verde a anfibolito inferior, suas rochas mais antigas possuem idades de aproximadamente 2.7 bilhões de anos (ARNDT; TEIXEIRA; WHITE, 1989). O *greenstone* visto em planta apresenta uma morfologia alongada com aproximadamente 45 km de comprimento e 6 km largura. É limitado à Leste pelo Complexo Caiamar, à Oeste pelo Complexo Anta e à Norte pelo Arco de Mara Rosa.

O Grupo Crixás foi caracterizado por Sabóia *et al.*, (1981) em três Fm.: (i) Córrego Alagadinho, na base; (ii) Rio Vermelho, no meio, e (iii) Ribeirão das Antas, no topo. Posteriormente a isso, Jost e Oliveira (1991) reuniram as três Fm. no Grupo

Crixás e, Jost *et al.*, (2019) subdividiu a Fm. Ribeirão das Antas, gerando mais uma acima desta, a Fm. Córrego Geral.

**Figura 8 -** (A) Mapa Geológico simplificado do GBC. (B) Coluna estratigráfica simplificada do GBC.



**Fonte:** Extraído de Castoldi (2015); Modificado de Jost e Fortes (2001) e Jost *et al.*, (2010).

### 3.2.2 Formação Córrego Alagadinho

A Fm. Córrego Alagadinho (SABÓIA *et al.*, 1981) se caracteriza por ser a base do GBC. É representada por um pacote de 600 metros de espessura em seção tipo, porém essa medida pode variar no espaço. Trata-se de uma sequência vulcânica ultramáfica metamorfozada (metakomatiito) com feições primárias preservadas, como textura *spinifex*, disjunções poliedrais, cumalatos de olivina e estruturas de fluxos. Os metakomatiitos podem ocorrer com intercalações de chert ferrífero, metasedimentos pelíticos grafitosos, tufos aluminosos e corpos intrusivos, principalmente ao Sul do *greenstone* (SABÓIA *et al.*, 1981). A Figura 10 apresenta um dos afloramentos da Fm. Córrego Alagadinho que, segundo Sabóia *et al.*, (1981, p. 41), são “talvez a mais espetacular sucessão de derrames-ultrabásicos até então descritos no Brasil”.

**Figura 9** - Afloramento da Fm. Córrego Alagadinho com textura spinifex preservada. Tamanho da escala: 20 cm.



**Fonte:** Extraído de Souza (2019).

### 3.2.3 Formação Rio Vermelho

Localizada ao longo das margens do rio Vermelho (onde apresenta seção tipo) e do córrego Roncador, a Fm. Rio Vermelho (SABÓIA, 1979) apresenta-se em contato abrupto com a Fm. Córrego Alagadinho, apresentando uma espessura de aproximadamente 800 metros de rochas vulcânicas máfica-ultramáficas metamorizadas (metabasaltos toleíticos e metakomatiitos). Possui feições primárias preservadas, como *pillows*, *pillow* brechas, variólas e vesículas, nos mais variados graus de deformação. A Figura 10 apresenta estruturas típicas da Fm. Rio Vermelho, como *pillow lavas* e vesículas.

**Figura 10** - Afloramento da Fm. Rio Vermelho com *pillow lavas* e estruturas reliquiárias de vesículas preservadas.



Fonte: Extraído de Souza (2019).

### 3.2.4 Formação Ribeirão das Antas

A Fm. Ribeirão das Antas (Figura 11) está em contato abrupto e concordante com a Fm. Rio Vermelho (SABÓIA, 1979). É constituída por rochas pelíticas grafitosas metamorizadas, de coloração que pode variar de cinzas a preto, sendo laminados e bem foliados, de granulação muito fina (JOST *et al.*, 2019). Subordinado ao filito carbonoso, ocorrem lentes de dolomitos relativamente frequentes com espessuras que podem variar de 6 a 15 metros ao longo do mergulho das camadas. De coloração branca, apresentam granulação fina que é composta de aproximadamente 80% de dolomita (JOST *et al.*, 2019). No topo desta formação, ocorrem de maneira transicional uma sequência de rochas siliciclásticas, designada como “metagravuca”, respeitando o código de amostragem local.

Antes da redefinição da Fm. Ribeirão das Antas de Jost *et al.*, (2019) a Fm. foi subdividida em três membros por Theodoro (1995): (i) Vulcanossedimentar, (ii) Carbonáceo e (iii) Siliciclástico. À uma parte superior do Membro Siliciclástico foi atribuída uma nova formação discutida a seguir, a Fm. Córrego Geral.

**Figura 11** - Detalhe de um afloramento da Fm. Ribeirão das Antas exibindo as intercalações do filito carbonoso (em preto e cinza escuro) com as metagrauvacas (em cinza).



Fonte: Extraído de Souza (2019).

### 3.2.5 Formação Córrego Geral

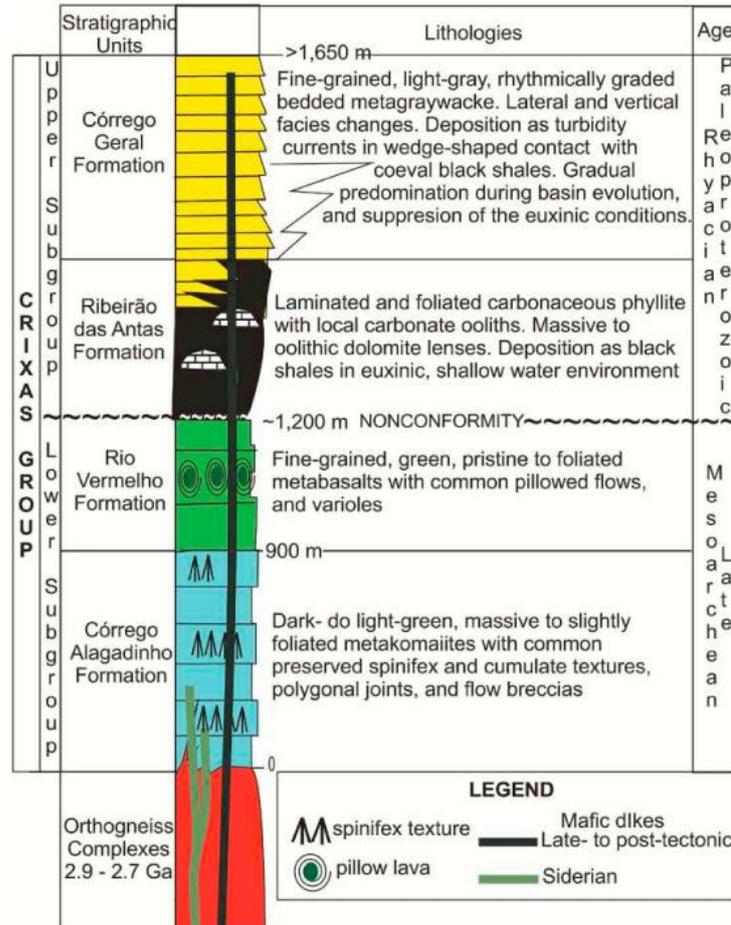
A Fm. Córrego Geral (JOST *et al.*, 2019) consiste em metarenitos impuros de granulação média a fina que alternam lateralmente para metassiltitos. Nesta Fm. não há intercalação com os filitos carbonosos da Fm. Ribeirão das Antas.

Para esta rocha, o termo “metagrauvaca” é aplicado, respeitando o código de amostragem local. A rocha é composta essencialmente por quartzo, albita e feldspato, e raramente ocorrem filossilicatos, carbonato e cimento de óxido de ferro. O metamorfismo da Fm. Córrego Geral é de fácies xisto verde, evidenciada pelos minerais metamórficos clorita, biotita e mica branca que recristalizaram os argilominerais (JOST *et al.*, 2019). O alto grau de deformação dessas rochas pode vir a dificultar o reconhecimento de outros minerais metamórficos que compõe a paragênese.

Os dados isotópicos apresentados por Jost *et al.*, (2019) deixam ainda mais acentuadas as diferenças entre os filitos carbonosos intercalados com dolomitos da

Fm. Ribeirão das Antas e as metagrauvacas da Fm. Córrego Geral, bem como as feições de campo, furos de sondagem e petrografia, ainda que as duas Fm. ocorram em contato transicional. A Figura 12 mostra a atualização da estratigrafia do GBC proposto pelo autor citado.

**Figura 12** - Esquema da atualização da coluna estratigráfica do GBC.



Fonte: Extraído de Jost *et al.*(2019).

### 3.2.6 Evolução Deformacional

Segundo Queiroz (2000) a geologia estrutural do GBC é muito complexa; além das múltiplas fases de deformação e ausência de controle estratigráfico (fósseis), o *greenstone* apresenta-se em um estado fragmentário. Diversos pesquisadores realizam trabalhos focados na compreensão da evolução das estruturas contidas nos Greenstone Belts de Goiás. Massucato (2004) e Carvalho (2005) por exemplo, indicam que houve uma sequência de eventos compressivos (quatro) na região de

Crixás e que algumas destas possuem forte ligação com a mineralização de ouro. Queiroz (2000) indica que essa evolução começa no Arqueano e têm longa duração, evoluindo também os complexos granítico-gnaissicos como influenciadores da geometria dos *greenstone*, tanto pela arquitetura tectônica Arqueano em domo-quilha, quanto pelas componentes intrusivas nos *greenstones*, como por exemplo o alojamento do Complexo Anta, que condiciona a geometria da borda Leste do GBC em 2.8 Ga (QUEIROZ, 2000).

Tudo começou quando derrames komatiíticos e toleíticos invadiram a região em um magmatismo fissural, formando uma grande bacia flexural, que deu origem as rochas da Fm. Córrego Alagadinho e as texturas almofadadas dos basaltos da Fm. Rio Vermelho. Segundo Jost *et al.*, (2019), o conhecimento da evolução deposicional desta bacia ainda possui incertezas.

Com a posterior reciclagem da crosta arqueana e formação dos complexos Caimar e Anta, em uma tectônica do tipo domo-quilha, os corpos TTGs soergueram e deram a forma triangular cúspide do GBC Jost *et al.* (2019). Contudo, Queiroz (2000) pontua que esta geometria não é resultado de um único evento que deformou as rochas, mas de sucessivos eventos de deformação que duraram aproximadamente 150 milhões de anos. Esta geometria, entretanto, sugere uma interpretação de que o GBC forma uma quilha sinforme em subsuperfície, com flanco invertido ou semi-invertido. Este evento é considerado a primeira fase de deformação do *greenstone* (D1).

O soerguimento dos complexos resultou em uma depressão que pode ter sido local de deposição, ainda no Arqueano, de sedimentos mistos derivados das rochas vulcânicas e dos complexos adjacentes (JOST *et al.*, 2019). Passado o Arqueano, a sedimentação continua, junto à eventos distensivos, até o Sideriano. No Riaciano, foram gerados os filitos carbonosos intercalados com dolomitos e grauvacas da Fm. Ribeirão das Antas e as grauvacas da Fm. Córrego Geral.

Com a progressão do primeiro evento deformacional, o evento compressivo (D2) de orientação L-O entra em vigor. Nesta fase, formam-se dobras recumbentes e semi-recumbentes, além de falhas inversas de baixo ângulo com vergência para Leste (JOST *et al.*, 2019) e mergulho para Oeste, com simetria similar a um *duplex*. As dobras geradas concordam com o mergulho da mineralização com aproximadamente 20° em média, onde o controle da mineralização aurífera se deu nesta fase através dos planos das falhas geradas. Além disso, a concentração do minério ocorre nos

flancos das dobras, principalmente nas charneiras, aproveitando zonas de fraqueza, Castoldi (2015).

Em seguida, um evento compressivo (D3) de direção N-S faz com que o Arco Magmático de Mara Rosa cavalgue parcialmente sobre a porção Noroeste do GBC e Norte do setor central do GBC, gerando um arqueamento que deu origem a Antiforme do Rio Vermelho. Este evento parece não afetar as mineralizações, por isso é considerado posterior.

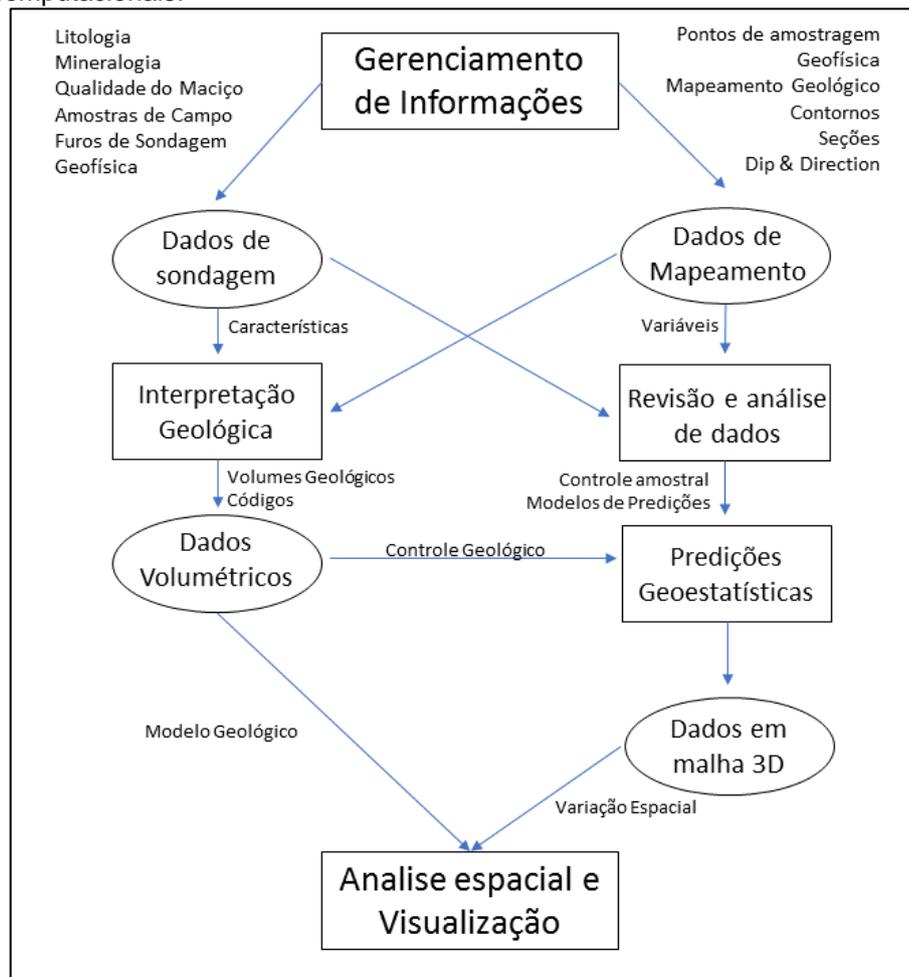
Por último, um evento deformacional compressivo (D4) de orientação NNW-SSE resultou em dobramentos abertos suaves, que também não afetam a mineralização; logo, é considerado posterior e visto apenas em alguns setores do GBC.

#### 4. METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo descrever a metodologia utilizada para desenvolver o modelo geológico do setor central do GBC e utiliza dados disponibilizados de diversas formas (CPRM, NASA, USGS, CAPES, CNPq, UFRGS, entre outras instituições) de domínio público e disponíveis para *download*.

A apresentação da metodologia foi dividida em três partes: aquisição de dados, tratamento dos dados e modelagem geológica. O esquema da Figura 13, modificada de Houlding (2012) ilustra e resume o uso dos dados, o fluxograma de gerenciamento e processamento dos dados usados neste trabalho, que contempla uma parte do fluxograma, não sendo abordado previsões geoestatísticas.

**Figura 13** - Caracterização Geológica. Fornecimento de dados, fluxo de dados, estrutura de dados e operações computacionais.



Fonte: Modificada de Houlding (2012).

## 4.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS

### 4.1.1 Dados de bibliografia

A etapa inicial da metodologia teve por objetivo a compreensão da geologia regional e local do GBC e suas unidades litológicas adjacentes. A revisão bibliográfica mostra que diversos trabalhos acadêmicos na região são em sua maioria desenvolvidos pela Universidade de Brasília, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e pela CPRM. Foram consultados dados de mapeamento (limites litológicos), correlação estratigráfica (idades), perfis e levantamentos estruturais, análises petrográficas e descrições litológicas, além de estudos teóricos que permitiram um melhor entendimento da complexa Geologia de Crixás, todos dessas instituições. Esta etapa se estendeu até o final do trabalho.

Assim como a etapa de estudos bibliográficos, o levantamento de dados também se estendeu até o final do trabalho, pois quanto maior o volume de dados levantados e incorporados ao modelo, mais próximo da realidade o modelo poderia chegar. Neste sentido serão descritos a seguir os tipos de dados coletados, tratamento e importação dos dados, todos de domínio público.

### 4.1.2 Dados de topografia

Existem diversas formas de se adquirir dados topográficos de qualidade a partir de imagens de satélites. Foi utilizado para a aquisição de dados topográficos um dos *sites* da Agência Espacial e Aeronáutica dos Estados Unidos – NASA. Este *site*<sup>2</sup> possibilita a adquirir, de forma gratuita, imagens de satélite de qualquer região do planeta com informações diversas a respeito de bandas, cotas, dentre outras.

Após escolher a área de interesse com um polígono desenhado no mapa, deve-se selecionar a imagem disponível da região. Sendo assim, a decisão foi tomada com base na melhor resolução de imagem (distanciamento de cada pixel em metros) e imagem mais atualizada. Para a região de Crixás foi escolhida a imagem com

---

<sup>2</sup> Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Acesso em: 15 ago. 2020.

resolução de 30 x 30 metros e com data de 2019. Após realizar *download* da imagem, foi necessário realizar o tratamento deste dado, que será descrito posteriormente.

#### 4.1.3 Dados de mapeamento

Os dados de mapeamento são de extrema importância para o desenvolvimento de um modelo 3-D de um depósito mineral. Os mapas geológicos são usados no planejamento de futuras explorações, direcionando o trabalho de desenvolvimento e coordenando possíveis interrupções (FADDIES *et al.*, 1982 *apud* SINCLAIR; GARSTON, 2006). Deve ser considerado que estas informações representam uma proporção limitada quanto ao volume total de um depósito mineral e seus arredores (SINCLAIR; GARSTON, 2006).

Os dados de mapeamento do estado de Goiás foram desenvolvidos pela CPRM, e são a base para o desenvolvimento do modelo geológico 3-D do setor central do GBC. Os dados correspondem aos limites litológicos, limites estruturais e afloramentos descritos, que são utilizados para a modelagem, não havendo interpretações a respeito dos dados em superfície.

Tanto os limites geológicos quanto o mapa geológico final, produzido pela CPRM, estão disponíveis para *download* no *site*<sup>3</sup> da CPRM. Sua publicação foi feita em 2008 em uma escala de 1:500.000. Em geral, empresas de mineração também realizam trabalhos de mapeamento da geologia *near mine*, mas em escala 1: 5.000, enquanto a Geologia dos depósitos minerais é mapeada em uma escala de 1: 1.000 ou ainda mais detalhada (SINCLAIR; GARSTON, 2006).

Os vetores que foram utilizados e importados nos *softwares* de modelamento e Sistema de Informação Geográfica (SIG) estão disponíveis em formato .shp para *download* em uma escala de 1:1.000.000. Os vetores (linhas que correspondem limites) disponíveis são de litologia, estruturas e hidrografia e, junto a eles, estão disponíveis também dados de afloramento e ocorrência mineral, como pontos.

---

<sup>3</sup> Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/>. Acesso em: 20 mar. 2020.

#### 4.1.4 Dados estruturais

Os dados estruturais disponíveis neste pacote de dados da CPRM não informam os azimutes (direção de mergulho) nem os *dips* (ângulo de mergulho), informações essenciais para a etapa de modelagem, visto que esses indicam as direções das continuidades das litologias em subsuperfície. Os dados estruturais são descritos (pela própria CPRM) apenas como “tipos” (falhas, zona de cisalhamento etc.) e “grupos” (contracional, transcorrente, etc) – nomenclatura utilizada pela CPRM. Logo, foi realizada uma filtragem de dados estruturais, buscando apenas as principais feições que delimitam as litologias que serão modeladas, onde as informações de azimute de mergulho serão interpretadas posteriormente na etapa de modelamento geológico a partir de dados estruturais da bibliografia, dos afloramentos e estudos a respeito da evolução estrutural da região, também disponíveis na bibliografia.

A aquisição desses tipos de dados se dá através de artigos científicos publicados em revistas brasileiras e internacionais, trabalhos de graduação, dissertações de mestrado e teses de doutorado, que realizaram mapeamento na região de Crixás e arredores.

Apesar da falta de medidas estruturais do arquivo de estruturas que definem os limites das Fm. que serão modeladas, dados de afloramento (pontos) possuem as informações de azimute e *dip*. A partir destes, foi realizado a filtragem dos dados e separação dos pontos por formação e por estrutura medida, para que os dados estruturais pudessem ser tratados individualmente.

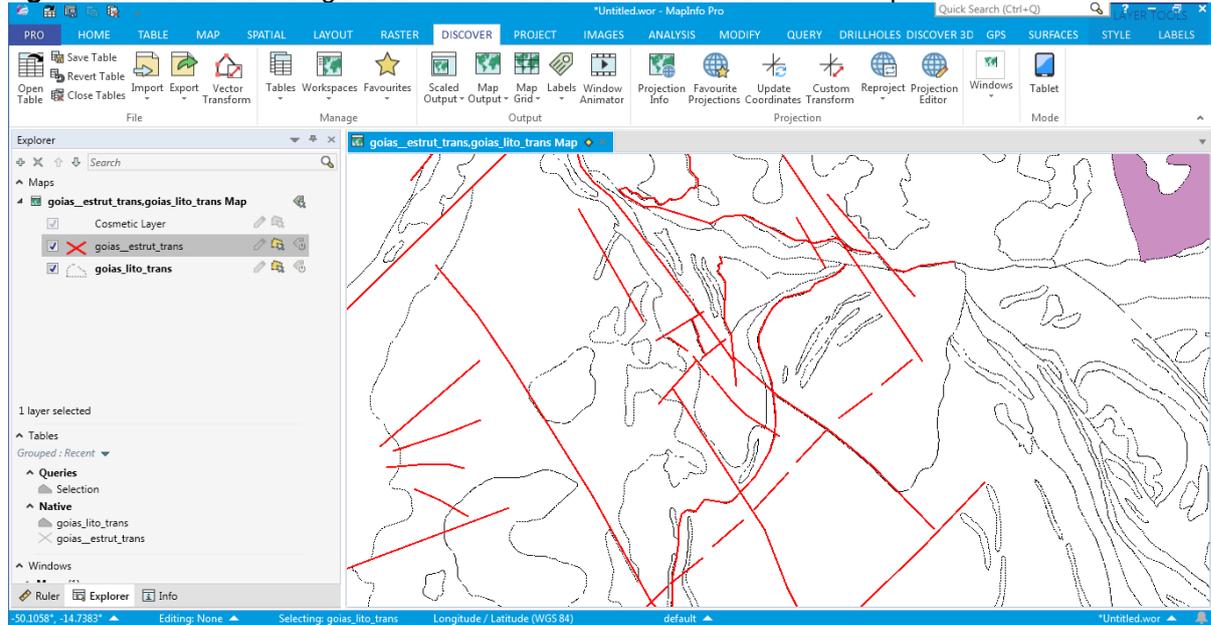
#### 4.1.5 Dados de litologia

Os dados de litologia disponíveis no banco de dados da CPRM dizem respeito aos contornos geológicos em planta das Fm. a serem modeladas. A tabela de dados litológicos contém diversas informações, como por exemplo as idades máximas e mínimas obtidas para aquela formação, descrição da litologia, nome da unidade etc. A disposição dos dados, assim como coloração do mapa pode ser diferente quando selecionado cada um desses atributos.

Para o trabalho de modelagem geológica, optou-se por trabalhar com o atributo de nome da unidade, onde ficam em evidência os contornos de cada uma das Fm.

(Córrego Alagadinho, Rio Vermelho, Ribeirão das Antas). Visto que esses dados foram publicados em 2008, a Fm. Córrego Geral não constava ainda no mapeamento como unidade estratigráfica, ou seja, seu contorno não está delimitado em planta e permanece como parte da Fm. Ribeirão das Antas. A Figura 14 mostra a importação dos dados de litologia e estruturas não tratados em ambiente SIG.

**Figura 14** - Dados de litologia e estrutural do banco de dados da CPRM importados em ambiente SIG.



**Fonte:** Elaborado pelo autor através do *software* Datamine Discover (2020).

## 4.2 TRATAMENTO DOS DADOS

Após a busca e coleta de dados de diferentes tipos, *datuns*, sistemas de coordenadas e escalas, o tratamento e a organização dos dados torna-se uma etapa fundamental. Para realizar esta etapa, foi utilizado o *software* Datamine Discover. Além das diferenças citadas, os formatos digitais em que cada informação é disponibilizada faz com que uma plataforma integradora seja utilizada.

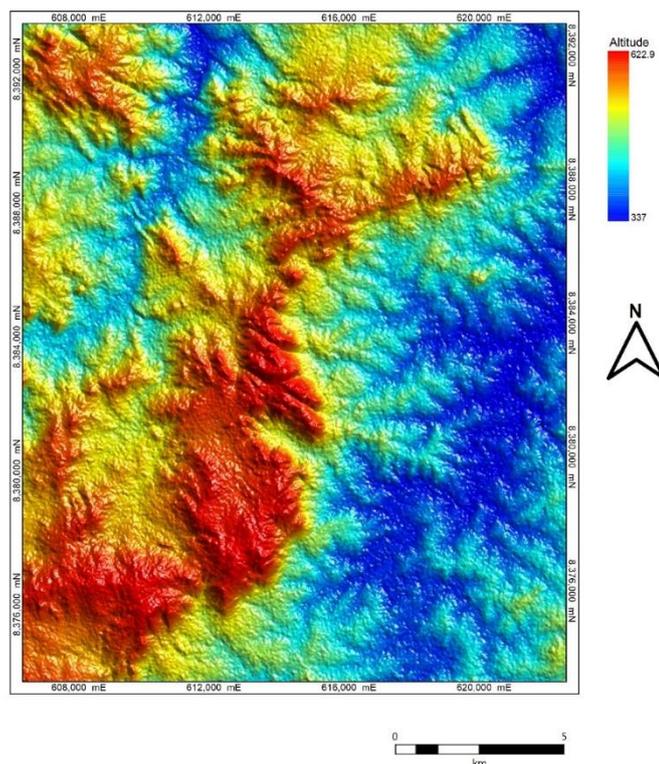
A principal extensão em que os dados são reconhecidos pelo *software* são em formato “.tab” que representam tabelas (ANEXOS 1 e 2), onde a primeira linha consiste em um cabeçalho fixo, formando colunas de informação. Entretanto, a maioria dos dados provenientes das mais diversas extensões são aceitas, como os que foram usados, .shp, .dm, Raster, .dxf, .kml, entre outras extensões originadas de *softwares* de mineração, como Vulcan e Leapfrog.Geo entre outros. Todas estas

extensões são convertidas automaticamente ao realizar suas importações individuais para o formato “.tab”. Junto à importação, foi adotada o sistema de coordenadas UTM Zona 22 – *datum* WGS 84, como uma forma de padronização dos dados. Este critério foi adotado para todos os dados.

#### 4.2.1 Dados de topografia

A topografia foi importada como um arquivo do tipo Raster (.tiff) e recortada para se adequar a da área de modelamento, gerando uma imagem com informações de altitude (cota Z), conforme a Figura 15.

**Figura 15** - Topografia em formato Raster da área do GBC.



**Fonte:** Do autor (2020) com base nos dados de topografia do *site*<sup>4</sup>.

Para desenvolvimento do trabalho, visando o melhor entendimento das estruturas presentes, foi necessário converter o arquivo Raster para um arquivo de linhas e pontos com coordenadas X, Y e Z e realizar um processamento, utilizando o

<sup>4</sup> Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Acesso em: 15 ago. 2020.

método de estimativa de triangulação entre os pontos, afim de gerar uma superfície 3-D equivalente ao relevo da região de interesse.

#### **4.2.2 Dados de litologia**

Ao realizar a importação dos dados litológicos do mapeamento da CPRM, foi adotada a conversão dos formatos “.shp” para “.tab” e transformados para o sistema de coordenadas padrão utilizado no trabalho. Esses dados representam polígonos fechados e suas tabelas de atributos contêm diversas informações em seus cabeçalhos, como o nome da unidade litológica, idade, método analítico para a definição da idade, entre outros.

Para melhor visualização dos polígonos, geração de mapas de localização e mapas geológicos foi adotada uma legenda de cores com base nas informações de unidades litológicas e organizada com base nas suas idades. Os dados utilizados possuem georreferenciamento, mas não incluem a informação de altitude (Z), que é incorporada para uma visualização em 3-D. Para converter esse tipo de dado 2-D para 3-D, foi realizado um rebatimento dos dados para topografia, que já possui coordenada X, Y, Z. Além disso, com esse rebatimento foi possível excluir os polígonos que estão fora da área de estudo, abordando apenas a extensão das unidades litológicas do GBC (Fm. Córrego Alagadinho, Fm. Rio Vermelho, Fm. Ribeirão das Antas). Nesta etapa do trabalho, a topografia serviu apenas como base para recorte (de todos os dados tratados em ambiente SIG), e foi abordada mais detalhadamente nas etapas de modelagem, em ambiente 3-D (Studio RM).

#### **4.2.3 Dados estruturais**

Por conseguinte, a mesma rotina foi realizada para os demais dados. Em especial, os dados de estruturas (polilinhas abertas) e afloramentos, foram submetidos a filtragem, pois diversas estruturas regionais cortam as litologias e têm grupo indiscriminado (segundo o mapeamento geológico da CPRM) ou até mesmo estão fora dos limites das Fm. modeladas, sendo assim, estas foram excluídas e não compõe este modelo. Nesse sentido, foram selecionadas apenas estruturas do grupo

“contracionais” que delimitam as Fm.. Essas estruturas são de extrema importância para as próximas atividades de modelamento, descritas a seguir.

Esses contatos geológicos entre as Fm., delimitados pelas estruturas, são contatos abruptos. Dentro de cada formação, os contatos podem ser além de abruptos, gradacionais ou até mesmo alternados, entretanto, não foram discriminadas as unidades dentro de cada formação devido a escala de detalhe de cada uma delas.

### 4.3 MODELAGEM GEOLÓGICA

Tendo os dados devidamente tratados em ambiente SIG, foi realizada a importação dos dados para o *software* de modelagem geológica 3-D. O *software* utilizado nesta etapa é o Datamine Studio RM (Resource Modeling) desenvolvido também pela empresa Datamine Software.

O Studio RM é uma ferramenta de modelagem tradicional e implícita, e possui ferramentas robustas para estimativa de recursos minerais utilizando-se de métodos de interpolação e geoestatística. A dinâmica de trabalho da modelagem tradicional é desenvolvida a partir da livre interpretação do usuário através de seus dados, onde é possível explicitar a continuidade dos dados através de linhas, pontos e/ou superfícies, indicando locais que dão a continuidade de uma rocha acamada, por exemplo. Já a dinâmica da modelagem implícita é desenvolvida a partir de uma tendência dos dados de furos de sondagem, como a indicação do início e do fim de uma rocha acamada, por exemplo, e assim, algoritmos matemáticos fazem a correlação através de pontos, linhas e/ou superfícies, que indicam a continuidade dos dados e impossibilitam viés interpretativo explícito na continuidade. Com base nestas premissas de funcionamento do *software*, foi utilizado a dinâmica de trabalho de modelagem tradicional.

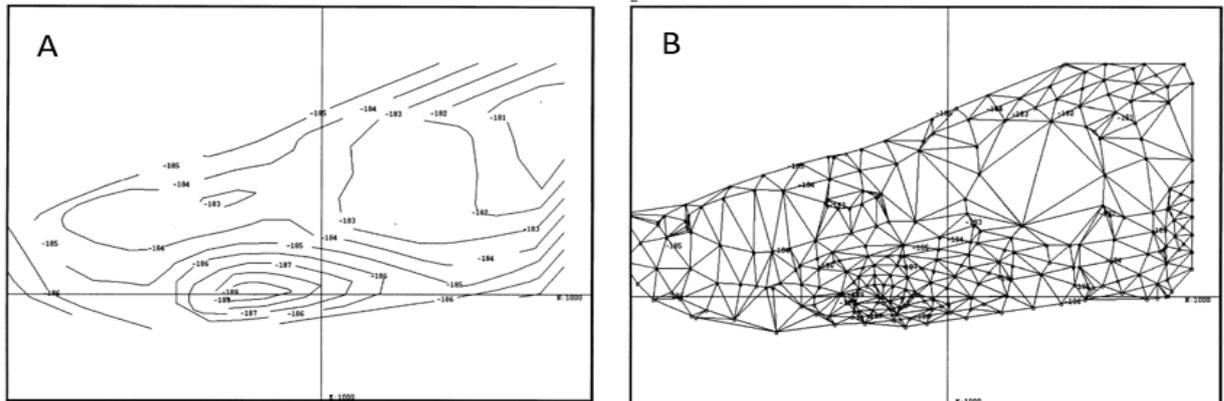
Assim como o *software* Datamine Discover, o Studio RM aceita diversos tipos de arquivos diferentes. Para a importação de arquivos que não tem formato original (.dm) é necessário que se faça a importação como arquivos externos. Nesse sentido, todos os dados que tinham formato .dxf, foram importados assim.

Começando pela topografia, as linhas criadas a partir do arquivo original Raster foram importadas no *Studio* RM e automaticamente convertidas para o formato “.dm”. Nesta etapa do processo, as linhas foram identificadas como *strings*. *Strings* são

formadas por pontos que, quando conectados, formam uma “corda” - *string*. As *strings* importadas no *Studio RM* são linhas com informações de localização (X, Y e Z) no espaço 3-D em cada um dos pontos. Deve-se então transformar as linhas de topografia em uma superfície topográfica, método que no *Studio RM* é denominado “Make DTM”.

Uma superfície nada mais é do que uma rede triangulada otimizada (TIN) que conecta os locais de coordenadas X, Y e Z dos pontos de observação conhecidos, onde triângulos pequenos correspondem a alta densidade dos pontos e triângulos grandes onde a densidade é baixa, como mostrado na Figura 16. As coordenadas Z dos pontos fornecem o relevo topográfico (HOULDING, 2012).

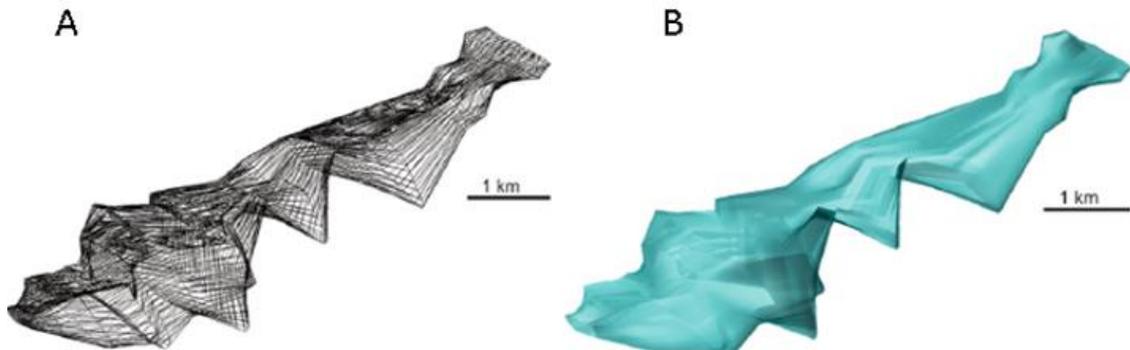
**Figura 16** - (A) Contornos topográficos. (B) TIN gerada a partir dos contornos.



**Fonte:** Extraído de Holding (2012).

No *Studio RM*, as linhas são conectadas entre si através de um processo de “lincagem”, gerando uma rede de triângulos entre seus pontos formando um “arame” que quando conectados geram uma superfície ou até mesmo um sólido, mostrado na Figura 17 (ABZALOV, 2016). A superfície topográfica, agora chamada de *wireframe* de topografia, servirá de base para o projeto e diversos processos e comandos dentro do *software* serão executados a partir dela.

**Figura 17** - Modelo geológico de *wireframes*. (A) Modelo de *wireframes* mostrando o resultado do processo de triangulação "arames". (B) Modelo de *wireframes* formando um sólido.



**Fonte:** Extraído de Abzalov (2016).

Após gerar a superfície topográfica, as *strings* das unidades litológicas formadas pelas Fm. Córrego Alagadinho, Rio Vermelho e Ribeirão das Antas foram importadas no *software*.

O volume de informações de um dado de mapeamento deve ser avaliado no computador. Este processo é fundamental para possíveis detecções de fatores complicadores que estão intimamente ligados a complexidades geológicas, forçando a realizar simplificações significativas (HOULDING, 2012).

O fator complicador mais significativo deste trabalho diz respeito a complicações geométricas das unidades mapeadas devido a complexidades geológicas. Houlding (2012) afirma que, nestes casos, a informatização requer uma estrutura de dados que possa acomodar eficientemente a geometria e as características de volumes geológicos.

As complicações geométricas mais significativas do ponto de vista da representação computacional foram criadas por ciclos de atividade tectônica que causaram flambagem, dobramentos, cisalhamento, falha e, em alguns casos, inversão estratigráfica (HOULDING, 2012), processos comuns na região de Crixás.

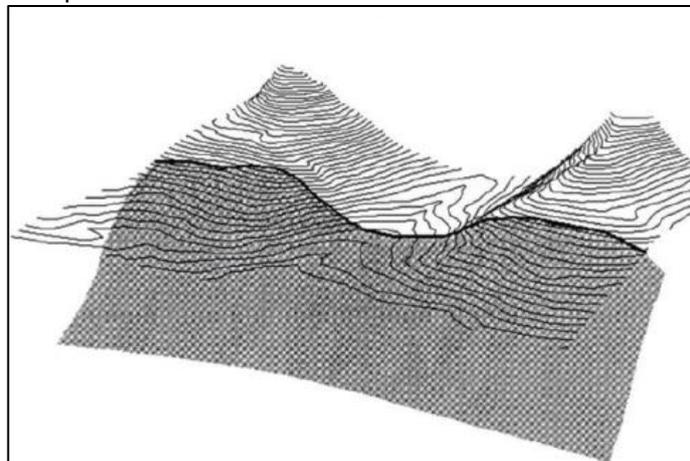
Nesse sentido, além dos fatores complicadores, algumas inconsistências dos dados foram encontradas, como pontos duplicados, cruzamento das linhas, quinas nas curvas de contorno da litologia, entre outros. Todas essas inconsistências são prejudiciais à modelagem, assim como os fatores complicadores, e foram tratadas do modo necessário com processos e comando dentro do *software*, como por exemplo a remoção de pontos duplicados, diminuição de pontos das *strings* e até mesmo refazê-las no *software* de Datamine Discover, quando as inconsistências eram extremas.

As importações e o tratamento das *strings*, dentro do ambiente 3-D foram executados para as seguintes unidades litológicas: Fm. Córrego Alagadinho, Fm. Rio Vermelho e Fm. Ribeirão das Antas. Estas Fm. representam, nesse momento, unidades litológicas, e são tratadas individualmente levando em consideração a aderência com as unidades adjacentes e a topografia.

Todas as *strings* das unidades litológicas possuem coordenadas X, Y e Z, mas a coordenada Z possui valor zero, pois os dados de mapeamento contém apenas as coordenadas X e Y. Para corrigir isso, foi executado um processo que faz com que as *strings* fiquem aderentes à superfície de topografia, atribuindo aos pontos a informação na cota Z da topografia quando interceptada; este comando chama-se “Project Strings to Wireframe”.

Os mesmos procedimentos de importação, tratamento e aderência foram realizados para as *strings* de estruturas, assim como para as unidades litológicas. Em seguida, foi realizado um comando para projetar a continuidade da estrutura em subsuperfície, que no Studio RM chama-se “Extrude Strings”. Neste comando indica-se o azimute (direção do mergulho) e o *dip* (ângulo do mergulho) da estrutura a ser projetada. Ao executá-lo, uma *wireframe* é gerada e representa a continuidade da estrutura (plano de falha, ou camada de unidade litológica, por exemplo). O comando foi executado para todas as estruturas, cada uma delas com o seu azimute e *dip*, interpretado a partir dos dados estruturais do banco de dados da CPRM e da bibliografia. Um exemplo extraído de Houlding (2012) é mostrado na Figura 18.

**Figura 18** - Linhas de superfície topográfica utilizadas como base para a projeção de *wireframe*, que neste caso representa um plano de falha.



**Fonte:** Extraído de Houlding (2012).

O mesmo comando de projeção foi executando para as unidades litológicas, fazendo com que elas respeitem as continuidades das estruturas. Para isso, foram executados comandos que fazem com que as *wireframes* das unidades litológicas fiquem aderentes às *wireframes* de estruturas, sendo importante que estas não extrapolem nem sobre espaço entre as duas *wireframes*; estes comandos são conhecidos como “operações booleanas”.

A seguir, será discutido os resultados dos modelos geológicos para as três unidades com base nos dados estruturais (de azimute e *dip*) usados para projetar as unidades litológicas e estruturas, bem como o modelo evolutivo proposto para a representação do modelo.

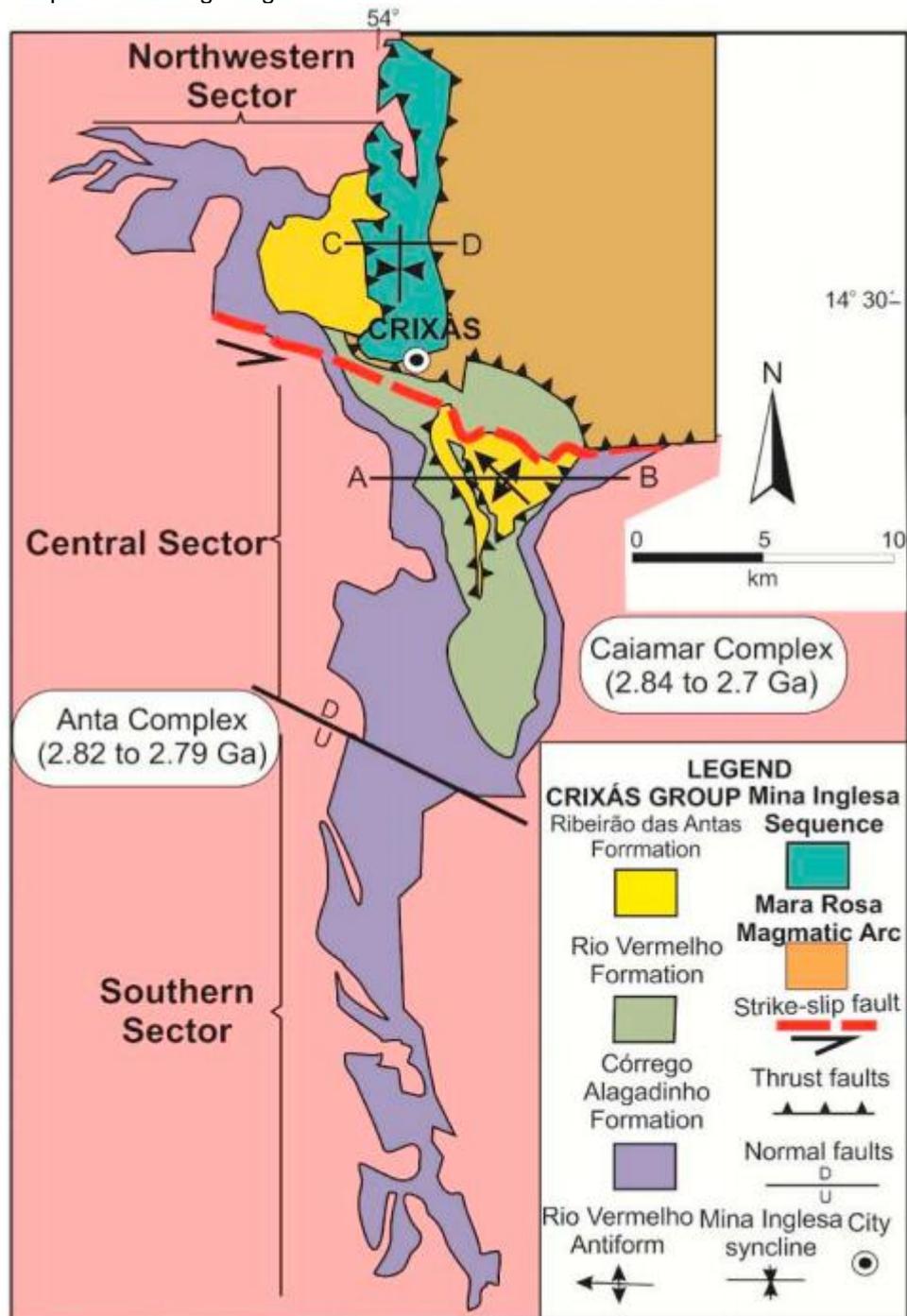
## 5. RESULTADOS

Este Capítulo tem por objetivo descrever os resultados da modelagem geológica do GBC a partir de tomadas de decisões com base no banco de dados da CPRM e na bibliografia citada nos Capítulos anteriores.

O GBC, dividido em três setores: Sul, central e Noroeste. O setor central foi o escolhido para o modelamento geológico, pois além de conter a estratigrafia completa numa área de maior abrangência, passa por todas as fases de deformação; sendo assim, o setor central torna-se mais interessante no ponto de vista econômico e metalogenético.

A divisão do setor central com o setor Noroeste é delimitada por uma falha transcorrente, nomeada por Queiroz (1995) de Zona Transpressiva Ribeirão das Antas/Rio Vermelho de direção N60°W de tendência vertical e movimento sinistral (esquerdo), que deslocou o setor central aproximadamente 5 km ao Leste. Esta falha, segundo Jost *et al.*, (2019) é anterior ao cavalgamento do Arco de Mara Rosa. O setor Sul é delimitado por uma falha normal de direção N60°W (JOST *et al.*, 2019). A divisão dos setores, bem como a localização, distribuição das Fm. fica evidente na Figura 19.

**Figura 19** - Mapa de limites geológicos e de limites dos setores do GBC.



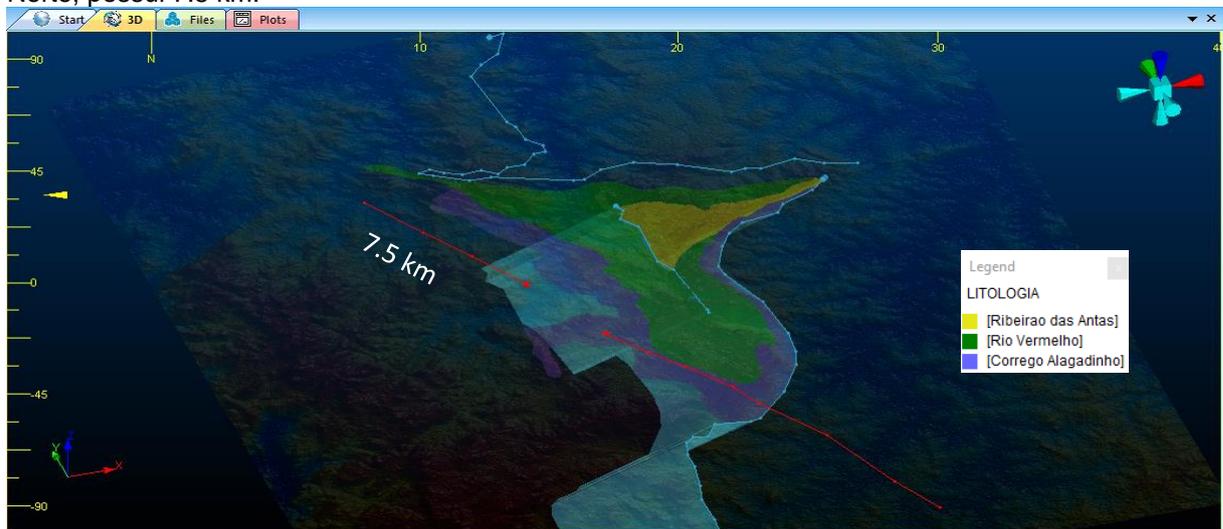
**Fonte:** Extraído de Jost *et al.*, (2019).

## 5.1 MODELO GEOLÓGICO E ESTRUTURAL

O primeiro modelo gerado foi o modelo das estruturas que condicionam as Fm. e que estabelecem contatos entre elas. Neste sentido, A Figura 20 mostra, em perspectiva, as *strings* em superfície correspondente às estruturas compressivas

descritas pela CPRM (interpretada aqui como de cavalgamento), em azul, e as estruturas transcorrentes, descritas pela CPRM (e interpretadas aqui como de deslocamentos laterais), em vermelho. As *strings* que foram projetadas, seguem em subsuperfícies como *wireframe's* em azul. Estas, foram projetadas com uma direção de mergulho  $270^\circ$  (azimute) e  $20^\circ$  de ângulo de mergulho (*dip*). As que não foram projetadas ou não pertencem a classe descritiva pela CPRM como compressivas e sim como transcorrentes (*string* em vermelho), ou, não estão relacionadas a setor central do GBC (*string* em azul a Norte).

**Figura 20** - Modelo de *wireframes* que representam as estruturas projetadas em subsuperfície (*wireframes* em azul). A vista possui direção de aproximadamente azimute  $20^\circ$  com inclinação de  $40^\circ$ . O Norte está representado pela seta verde (eixo Y). A fim de escala, a estrutura vermelha mais ao Norte, possui 7.5 km.



**Fonte:** Elaborado pelo autor através do software Studio RM (2020).

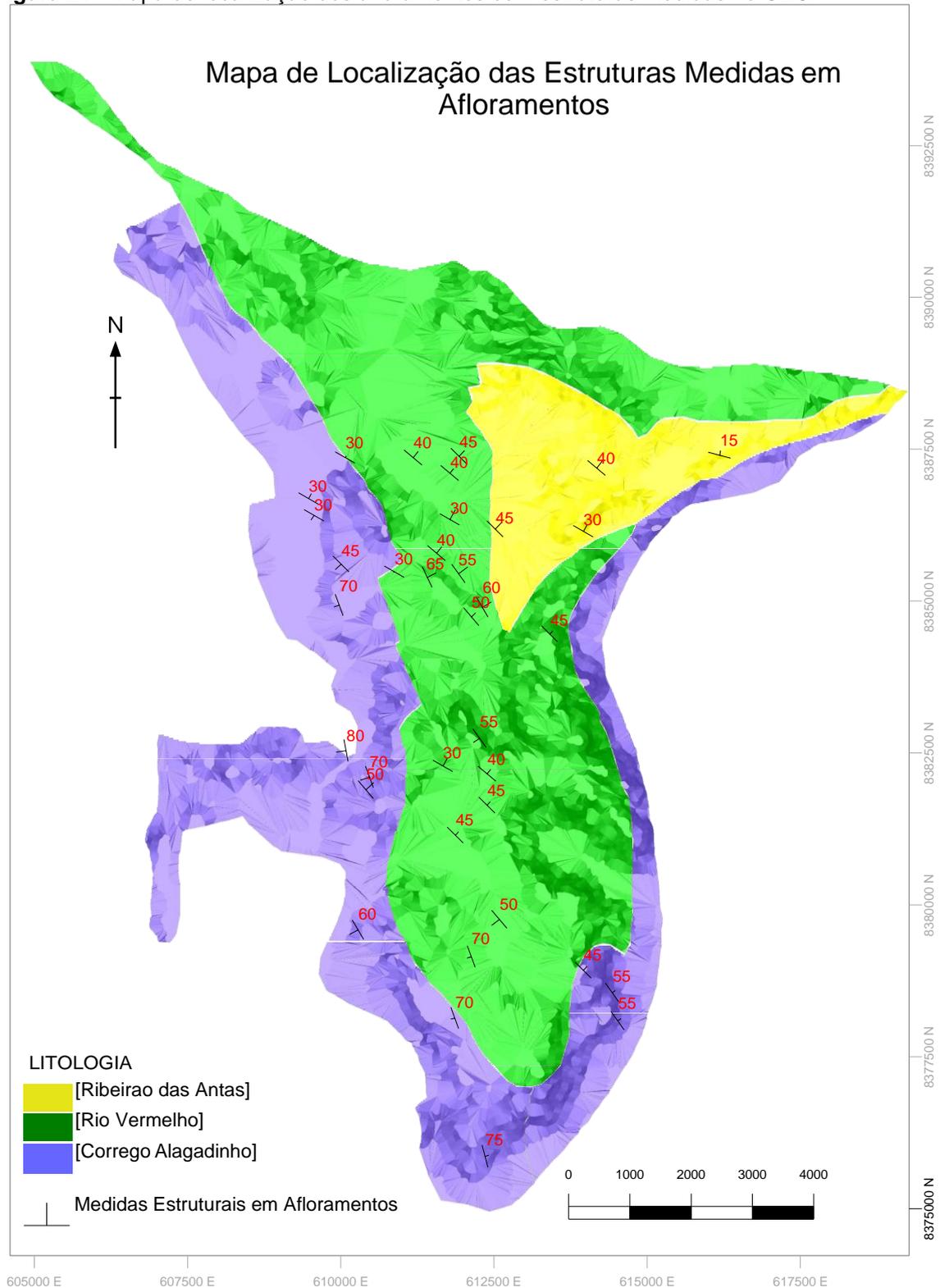
O segundo modelo gerado foi o modelo geológico do setor central do GBC, onde são representadas as Fm. do GBC que podem ser vistos nas Figuras 22, 23 e 24. A direção das projeções em subsuperfície respeitou o modelo estrutural proposto com azimute  $270^\circ$  e *dip*  $20^\circ$ .

Esta direção representa apenas um cenário que foi abordado, levando em consideração que as atitudes medidas nos afloramentos (planos) durante o trabalho de mapeamento da CPRM, não se mostraram suficientes para gerar dados estatísticos e compor uma média confiável para a projeção das estruturas em subsuperfície, e por conseguinte, do modelo geológico.

A Figura 21 mostra que a densidade de pontos em cada uma das Fm. em relação à sua extensão é menor que o número mínimo para compor uma média no

estereograma, além disso, diversas estruturas foram discretizadas, e quando individualizadas em cada uma das Fm., representam um número de medidas menor ainda.

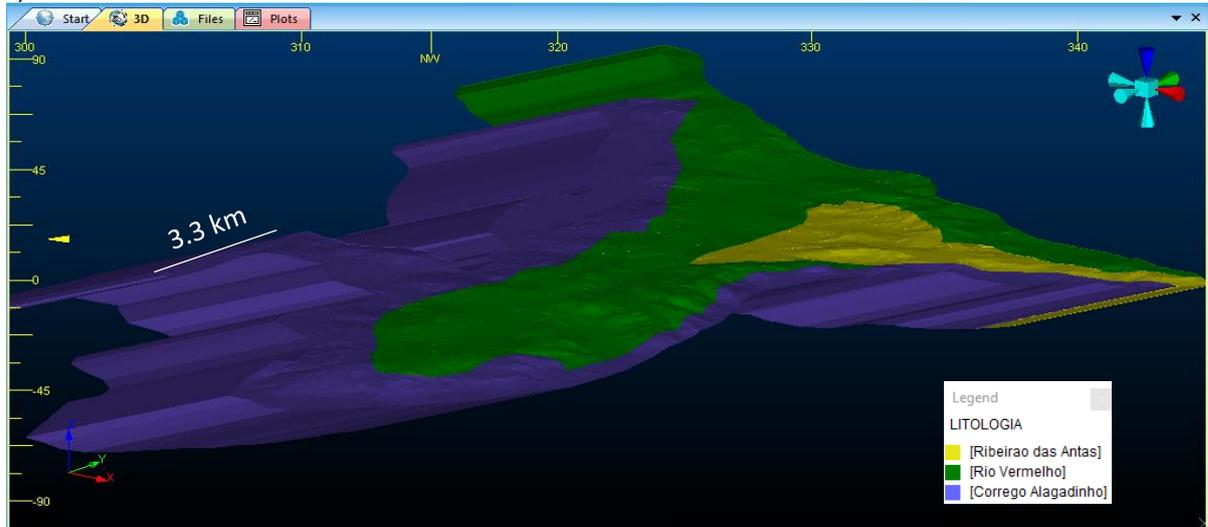
**Figura 21** - Mapa de localização dos afloramentos com estruturas medidas no GBC.



Fonte: Do autor (2020).



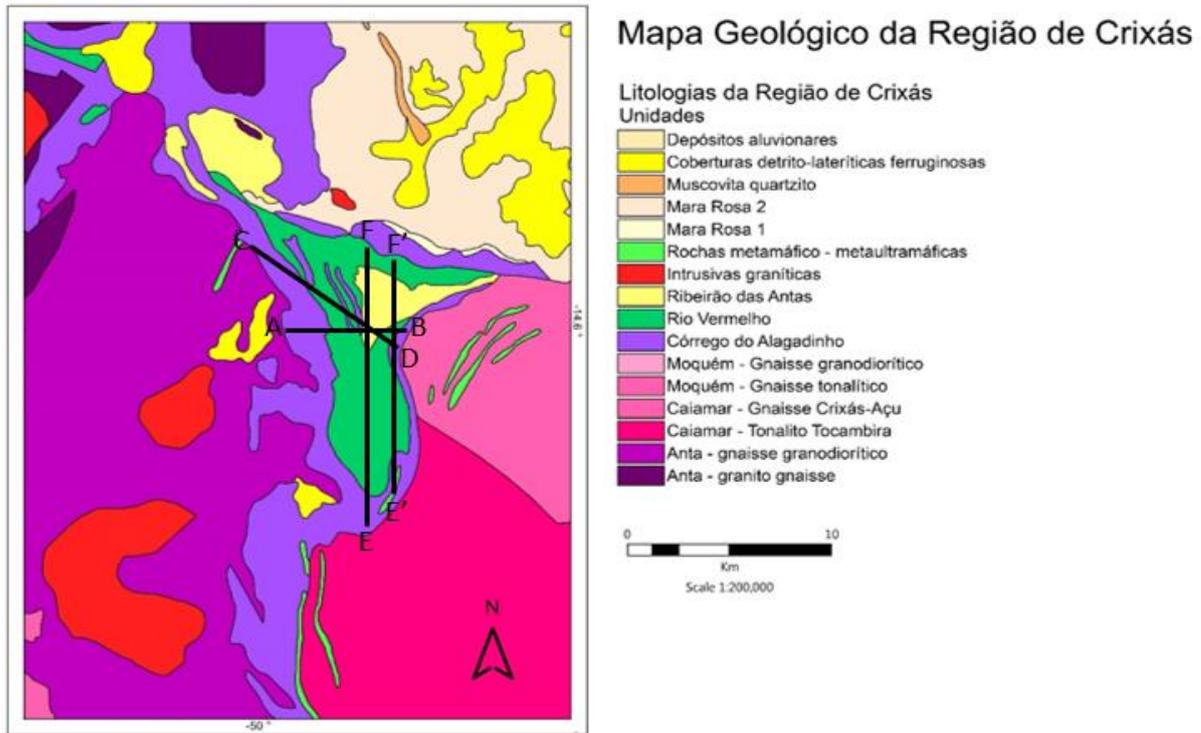
**Figura 24** - Modelo de *wireframes* das Fm. do GBC visto em perspectiva em direção de aproximadamente azimute  $320^\circ$  com inclinação de  $20^\circ$ . O Norte está representado pela seta verde (eixo Y).



**Fonte:** Elaborado pelo autor através do *software* Studio RM (2020).

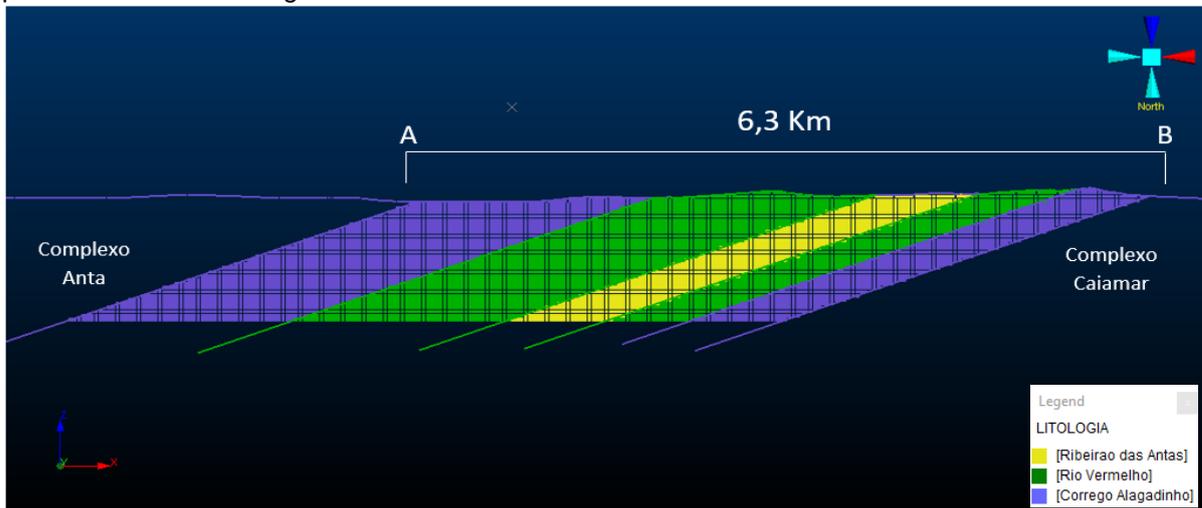
Tendo o modelo geológico finalizado, é possível construir seções verticais em qualquer direção no setor central do GBC, realizando a partir delas uma análise do comportamento espacial em subsuperfície. Neste sentido, a Figura 25 apresenta a localização das seções verticais (A-B, C-D, E-F E'-F') no mapa geológico desenvolvido com base nos dados de mapeamento da CPRM, e as Figuras 26, 27, 28 e 29 as seções verticais respectivas, sendo que nenhuma delas possui exagero vertical.

**Figura 25** - Mapa Geológico de Crixás com base nos dados de mapeamento da CPRM e orientação das seções verticais geradas.



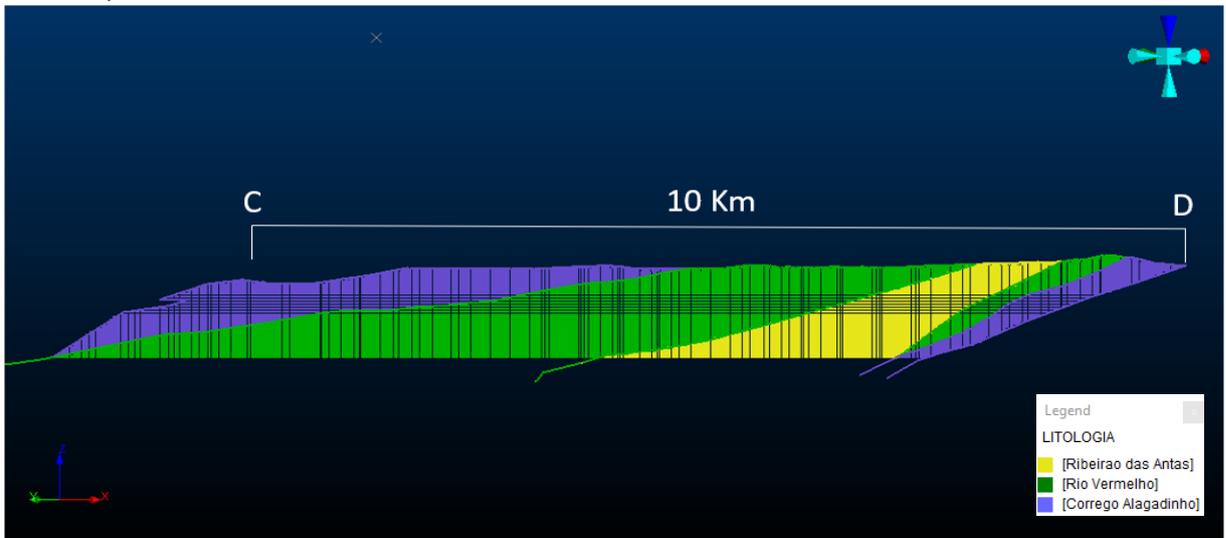
Fonte: Do autor (2020).

**Figura 26** - Seção vertical A-B do setor central do GBC (L-O). Em evidência está os mergulhos de 20° para Oeste das Fm. do *greenstone*.



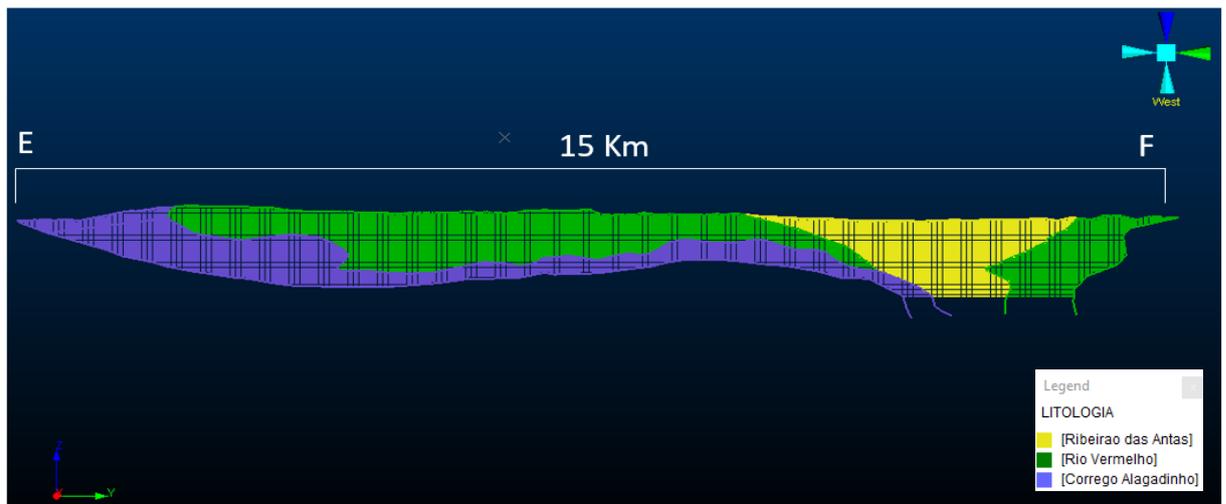
Fonte: Elaborado pelo autor através do *software* Studio RM (2020).

**Figura 27** - Seção vertical C-D do setor central do GBC (NW-SE), deixando em evidência o mergulho das Fm. para Noroeste.



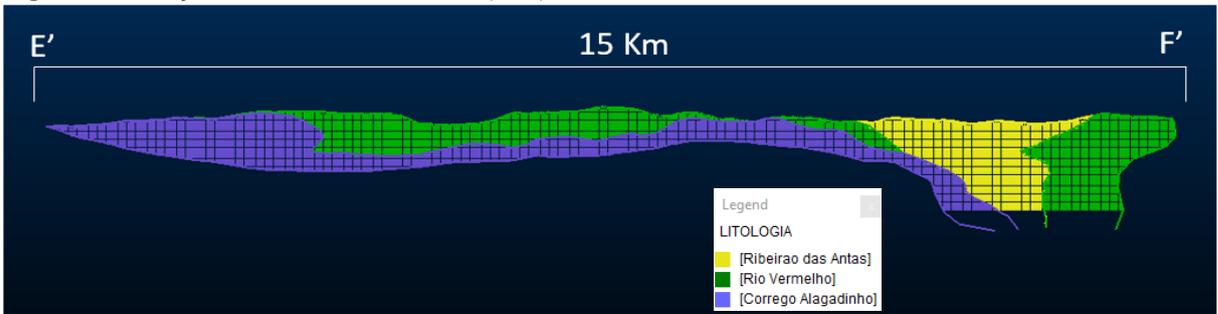
Fonte: Elaborado pelo autor através do *software* Studio RM (2020).

**Figura 28** - Seção vertical E-F do GBC (N-S).



Fonte: Elaborado pelo autor através do *software* Studio RM (2020).

**Figura 29** - Seção vertical E'-F' do GBC (N-S).

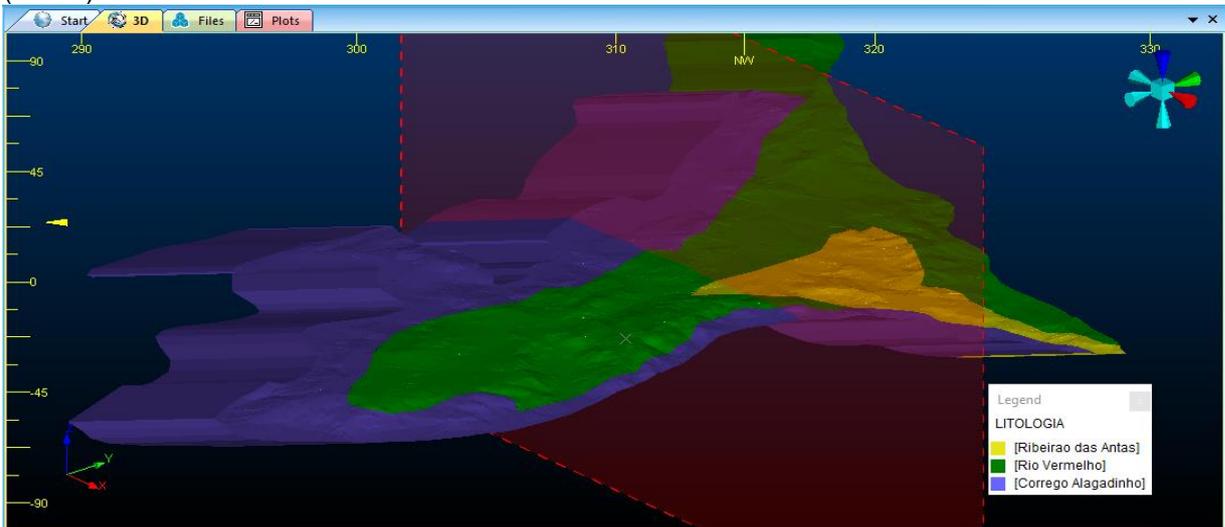


Fonte: Elaborado pelo autor através do *software* Studio RM (2020).

## 5.2 DISCUSSÕES

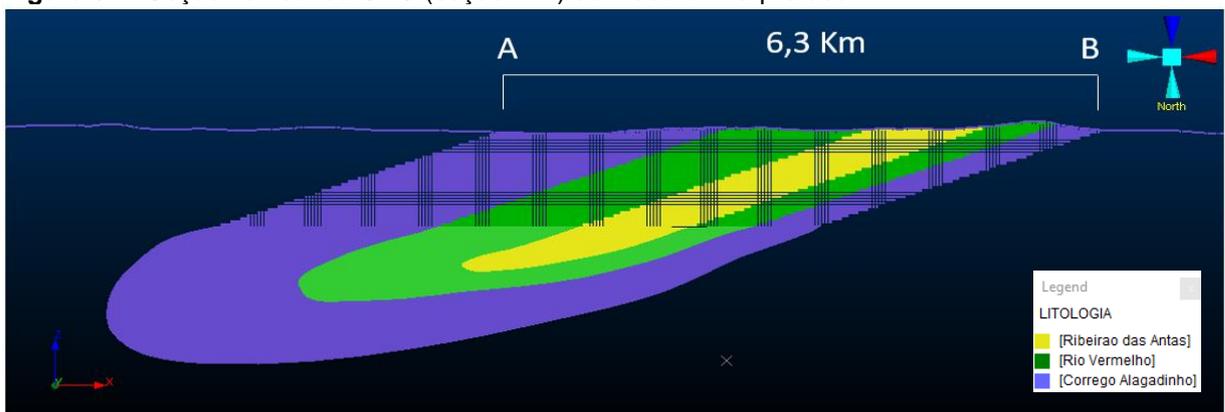
Com base no modelo aqui proposto, é possível que se interprete uma dobra em grande escala, quando posicionamos a seção A-B (uma seção L-O indicada na Figura 30 no modelo 3-D). Esta dobra (Figura 31) é uma sinforme, apertada com flanco Oeste invertido, onde a profundidade da charneira interpretada que pode chegar a 2.5 km de profundidade.

**Figura 30** - Modelo de *wireframes* das Fm. do GBC visto em perspectiva. Vista para a direção aproximadamente azimute 310 com inclinação de 23°. O Norte é representado pela seta Y em verde (eixo Y).



**Fonte:** Elaborado pelo autor através do *software* Studio RM (2020).

**Figura 31** - Seção vertical do GBC (seção A-B) com dobra interpretada.



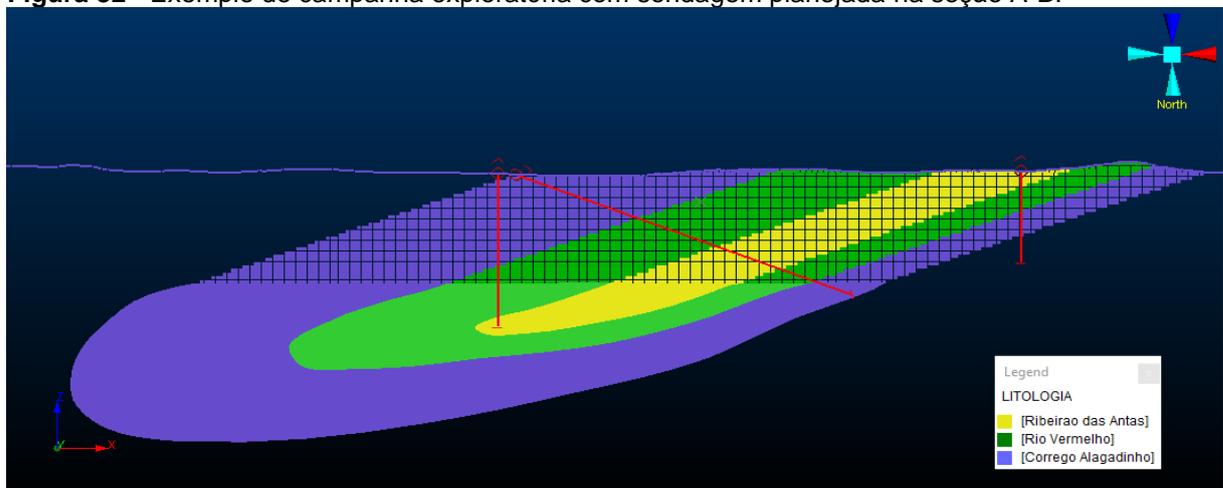
**Fonte:** Do autor (2020).

A partir dessa seção é possível identificar a inversão estratigráfica na parte Oeste do GBC. Se houvesse campanhas exploratórias na região Oeste do GBC, poderíamos prever a quantos metros a sondagem interceptaria a Fm. Ribeirão das

Antas (onde se concentram os maiores teores de ouro) e indicar previamente um desvio para a sonda, fazendo com que amostre-se a espessura verdadeira das Fm., e por consequência disto, gastar menos com amostragem.

A Figura 32 mostra três furos de sondagem projetados (em vermelho) interceptando as Fm. do GBC. O primeiro furo (à Oeste) representa uma amostragem vertical com o alvo na charneira da dobra da Fm. Ribeirão das Antas, local onde pode ser que exista alta concentração de minério metálico. Este furo está projetado sem desvio, com 90° de inclinação e com metragem de aproximadamente 1.500 metros, onde foi interpretado a charneira da dobra da Fm. Ribeirão das Antas, onde pode haver a maior ocorrência de ouro. O segundo furo (no meio), também sem desvio, possui 20° de inclinação para interceptar a espessura verdadeira das camadas. A Fm. Ribeirão das Antas é atingida com 2.000 metros de perfuração, porém para amostragem chegar ao final do flanco Leste, a sonda deverá perfurar aproximadamente 3.200 metros.

**Figura 32** - Exemplo de campanha exploratória com sondagem planejada na seção A-B.



**Fonte:** Elaborado pelo autor através do *software* Studio RM (2020).

Com os dados abordados e com o modelo proposto, não foi possível extrair uma seção que deixe evidente a Antiforme do Rio Vermelho, pois esta estaria mais relacionada com o evento deformacional D3 de direção N-S, não tendo relação com a mineralização e, por isso, não considerada no modelo.

As simplificações abordadas na construção do modelo não foram impeditivas para gerar informações a respeito da distribuição espacial das Fm. do GBC. Apesar de que, se houvessem possibilidades de trabalho de campo na região, furos de sondagem e dados geofísicos em profundidade (como sísmica e magnetometria), bem

como mais tempo de desenvolvimento do projeto e o fim da pandemia de COVID-19, o modelo poderia ser mais coerente com a realidade.

## 6. CONCLUSÕES

A tendência geral do modelo geológico do GBC mostrou-se aderente aos perfis dos pesquisadores da região. Mesmo que aplicadas simplificações ao modelo, como por exemplo a atitude de 20° de mergulho das Fm. com azimute de 270°, os dados correspondem às propostas anteriores para a continuidade espacial do GBC, como por exemplo os estudos de Blum (BLUM; PIRES; MENDES, 1996; BLUM; PIRES; MORAES, 2000) onde a Geofísica indica que a continuidade espacial das rochas em subsuperfície variam de 2 a 4 km.

A porção Oeste do GBC, onde afloram as Fm. Córrego Alagadinho, Rio Vermelho e Ribeirão das Antas, apresenta inversão estratigráfica, que corrobora com as ideias propostas de Yamakoa e Araújo (1988), Queiroz (2000) e Jost *et al.*, (2019). Entretanto, na parte Leste, a estratigrafia está normal, caso fossem realizadas campanhas exploratórias na região Leste do GBC (terceiro furo de sondagem projetado a leste, Figura 32) as Fm. seriam amostradas em ordem da mais recente para a mais antiga. Já na parte Oeste, seriam amostradas em ordem inversa, da mais antiga para a mais recente.

A charneira da dobra interpretada pode chegar a aproximadamente 2.5 km na Fm. Córrego Alagadinho, 2 km na Fm. Rio Vermelho e 1.5 km na Fm. Ribeirão das Antas, em relação a superfície. A espessuras verdadeira dessas Fm. variam no espaço, onde na porção Leste do *greenstone* são menos espessas do que na porção Oeste. A Fm. Córrego Alagadinho na porção Oeste do *greenstone* possui aproximadamente 1.100 metros de espessura e a porção Leste aproximadamente 400 metros. A Fm. Rio Vermelho na porção Oeste possui aproximadamente 800 metros e na porção Leste 300 metros. A Fm. Ribeirão das Antas possui cerca de 550 metros de espessura e está no centro dessa dobra regional.

As espessuras estimadas em seção tipo e no modelo geológico são uma tentativa de previsão do comportamento da geologia em subsuperfície, entretanto, existe uma grande probabilidade de que as rochas tenham outro comportamento espacial mais variado, devido a anisotropia dos corpos geológicos em profundidade. A amostragem sistemática em subsuperfície tende a indicar as anisotropias e fazem com que os modelos geológicos sejam mais próximos a realidade, bem como trabalhos de mapeamento e coleta de medidas estruturais robustas.

Este é um modelo geológico preliminar, onde informações poderão ser incorporadas a qualquer momento. Quanto mais dados se adiciona a um modelo geológico, mais próximo a realidade tende o resultado. Informações como alta densidade de dados estruturais, novos dados de mapeamento geológico, afloramentos, sondagens, trincheiras e geofísica podem vir a acrescentar informações valiosas ao modelo, além do que foi abordado neste. A vantagem de construir modelos como esse é permitir a incorporação de novos dados e tornar o modelo dinâmico para o GBC e para a região mineralizada.

## REFERÊNCIAS

- ABZALOV, M. **Applied Mining Geology**. 12. ed. Crawley: Springer, 2016.
- ALMEIDA F. F. M. Evolução tectônica do Centro-Oeste brasileiro. *In: ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS*, 40., 1968, **Anais** [...]. p. 280-296.
- ALMEIDA, F. F. M. *et al.* Províncias Estruturais Brasileiras. *In: VIII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, 1977, Campina Grande – PE. **Anais** [...]. Campina Grande: SBG, 1977. pp. 363–391.
- ARNDT, N. T.; TEIXEIRA, N. A.; WHITE, W. M. Bizarre geochemistry of komatiites from the Crixás greenstone belt, Brazil. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 101, n. 2, p. 187–197, 1989.
- BLUM, M. L. B.; PIRES, A. C. B.; MENDES, L. R. Preliminary gravity map and 2-D gravity and magnetic data inversion of the Crixás Greenstone Belt, Goiás. *In: 1ST SYMPOSIUM ON ARCHEAN TERRANES OF THE SOUTH AMERICAN PLATFORM, BRAZILIAN GEOLOGICAL SOCIETY. Proceedings* [...]. 1996. P. 33-35.
- BLUM, M. D. L. B.; PIRES, A. C. B.; MORAES, R. A. V. DE. Gravity inversion on granite-greenstone belt areas: crixás, guarinos and pilar de Goiás, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 3, p. 547–550, 2000.
- CASTOLDI, M. A. S. **O distrito aurífero de Crixás – GO**: Caracterização do novo corpo de minério Ingá. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- CARVALHO, R.S. **Mapeamento Geológico Estrutural da Faixa Leste-Oeste ao Norte do GBC(GO)**. Rio de Janeiro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Relatório Parcial, 2004. 45p.
- CASTRO, J. H. G; MAGALHÃES, L. F. Revisão Estratigráfica do Grupo Pilar de Goiás na Faixa Crixás. XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, 1984, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro, 1984. p. 2563-2576.
- DANNI, J. C. M.; DARDENNE, M. A.; FUCK, R. A. Geologia da região da Serra da Santa Rita e Sequência Serra de Cantagalo: *In SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE*, L, GOIÂNIA, 1981. **Anais** [...]. 1981. p. 265-280.
- DANNI, J. C. M.; FUCK, R. A.; LEONARDOS, O. H. Archaean and Lower Proterozoic units in Central Brazil. **Geologische Rundschau**, v. 71, n. 1, p. 291–317, 1982.
- DANNI, J. C. M *et al.* Aspectos da evolução dos terrenos granito-greenstone: exemplo da região de Hidrolina, GO. *In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 34, 1986, Goiânia. **Anais** [...]. Goiânia, 1986. p. 570-584.
- FUCK, R. A. A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica da Província Tocantins. *In: SBG, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE*, IV, 1994. **Anais** [...]. 1994. p. 184-187.

GROSHONG JR, R. H. **3-D Structural Geology**. Springer, Northport, 2006, 411 p.

JOST, H.; DE OLIVEIRA, A. M. Stratigraphy of the greenstone belts, Crixás region, Goiás, central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 4, n. 3, p. 201–214, 1991.

JOST, H.; FORTES, P. Gold deposits and occurrenceS of the Crixás Goldfield, Central Brazil. **Mineralium Deposita**, v. 36, n. 3–4, p. 358–376, 2001.

JOST, H. et al. A U-Pb zircon Paleoproterozoic age for the metasedimentary host rocks and gold mineralization of the Crixás greenstone belt, Goiás, Central Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 37, n. 2, p. 127–139, 2010.

JOST, H. *et al.* Metalogênese dos greenstones belts de Goiás. *In*: SILVA, M.G.; ROCHA NETO, M.B.; JOST, H.; KUYUMJIAN, R.M. (Orgs.). **Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras**, Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Belo Horizonte, p. 141-168, 2014.

JOST, H. *et al.* Stratigraphic update, paleotectonic, paleogeographic, and depositional environments of the Crixás Greenstone Belt, Central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 96, n. September, 2019.

HOULDING, S. 2012. 3D geoscience modeling: computer techniques for geological characterization. Springer, Heidelberg, 2012, 309 p.

MASSUCATO, A. J. **Relatório de Geologia Estrutural - Aspectos Estruturais do GBC- GO - Anglogold Ashanti, Crixás-GO**. Relatório Interno, 2004. 30p.

PIMENTEL, M. et al. The Basement of the Brasília Fold Belt and the Goiás Magmatic Arc. **Tectonic evolution of South America**, n. January, p. 195–229, 2000.

PIMENTEL, M. M. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: A geochronological and isotopic approach. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, n. June, p. 67–82, 2016.

QUEIROZ, C. L. **Caracterização dos domínios estruturais e da arquitetura do greenstone belt de Crixás, GO**. 1995. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1995.

QUEIROZ, C. L. **Evolução tectono-estrutural dos terrenos granitogreenstone belt de Crixás, Brasil Central**. 2000. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

RESERA, L. G. **Geoestatística de múltiplos pontos aplicado à simulação de modelos geológicos em grids estratigráficos**. Orientador: João Felipe Coimbra Leite Costa. 2014. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgicas e de Materiais) — Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2014. Versões impressa e eletrônica. A versão eletrônica com texto completo. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/117142/000929816.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 out. 2020.

RESENDE, M. G. *et al.* Stratigraphy of the Goiás and Faina Greenstone Belts, Central Brazil: a New Proposal. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 1, p. 77–94, 1998.

RESENDE, M.G. **Estudo da evolução das supracrustais metassedimentares dos greenstone belts de Goiás e Faina, GO.** 1999. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

ROLO, R. M. **Modelagem geológica implícita com funções distância assinaladas.** Orientador: João Felipe Coimbra Leite Costa. 2017. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia – Tecnologia Mineral) — Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2017. Versões impressa e eletrônica. A versão eletrônica com texto completo. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/163406/001022979.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 jun. 2020.

SABÓIA, L. A. **Os greenstone belts de Crixás e Goiás, GO. Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo Centro-Oeste,** Boletim Informativo 9. 1979. p. 44-72.

SABÓIA, L. A. *et al.* Geologia do GBC(GO) e suas implicações geotectônicas. **Simpósio sobre o Cráton de São Francisco e suas Faixas Marginais**, p. 39–50, 1981.

SANTOS, L. C. M. DE L. *et al.* Análise Tectônica De Terrenos: Metodologia, Aplicação Em Cinturões Orogênicos E Exemplo Das Províncias Tocantins E Borborema, Brasil. **Geonomos**, v. 22, n. 2, p. 51–63, 2014.

SINCLAIR, A. J.; GARSTON, H. B. **Applied mineral inventory estimation.** Cambridge, Cambridge University. 2006, 401 p.

SOBIESIAK, M. S. **Caracterização de depósito aurífero no Corpo Pequizão, Crixás-GO.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SOUSA, V. H. V. de. **Estratigrafia isotópica do greenstone belt de pila de Goiás e correlações.** Orientador: Roberto Ventura Santos. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) — Instituto de Geociências, UnB, Brasília, 2011. Versões impressa e eletrônica. A versão eletrônica com texto completo. Disponível em: <[https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9653/1/2011\\_VictorHugoVSousa.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9653/1/2011_VictorHugoVSousa.pdf)> . Acesso em: 30 jun. 2020.

SOUZA, R. G. **Caracterização do corpo aurífero Mangaba, estrutura IV, greenstone belt de Crixás, GO.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

SOUZA, M. O. A. **Caracterização do corpo de minério Flamboyant no Distrito Aurífero de Crixás – GO.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

THEODORO, S. M. C. H. **Ambiente de sedimentação da Formação Ribeirão das Antas, Grupo Crixás - Goiás.** 1995. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1995.

UHLEIN, A. *et al.* Tectônica Da Faixa De Dobramentos Brasília – Setores Setentrional E Meridional. **Geonomos**, v. 20, n. 2, p. 1–14, 2012.

VALERIANO, C. M. *et al.* U-Pb geochronology of the southern Brasília belt (SE-Brazil): Sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West Gondwana. **Precambrian Research**, v. 130, n. 1–4, p. 27–55, 2004.

YAMAOKA, W. N.; ARAÚJO, E. M. Depósitos de Ouro Mina III, Crixás, Goiás. *In*: C. SCHOBENHAUS, C; COELHO, C. E. S. (Eds.) **Principais Depósitos Minerais do Brasil.** Brasília: NPM/CVRD, 1988. cap. 34, p. 491-498.

## ANEXO 1 - Arquivo de Estruturas

| XP       | YP      | ZP       | PTN | PVALUE | COLOUR | BLOCKID |
|----------|---------|----------|-----|--------|--------|---------|
| 609507.1 | 8381587 | 427      | 1   | 1      | 9      | 2       |
| 610488.2 | 8380032 | 457      | 2   | 1      | 9      | 2       |
| 611343.7 | 8378676 | 577      | 3   | 1      | 9      | 2       |
| 612440.7 | 8376938 | 637      | 4   | 1      | 9      | 2       |
| 613041.1 | 8375986 | 427      | 5   | 1      | 9      | 2       |
| 614617.8 | 8373487 | 397      | 6   | 1      | 9      | 2       |
| 615908.7 | 8370126 | 381.6962 | 7   | 1      | 9      | 2       |
| 616860.3 | 8368177 | 367      | 8   | 1      | 9      | 2       |
| 612185.2 | 8388973 | 416.9896 | 1   | 2      | 6      | -       |
| 612326.5 | 8388604 | 442.9262 | 2   | 2      | 6      | -       |
| 612093.2 | 8388170 | 429.1959 | 3   | 2      | 6      | -       |
| 612525.1 | 8387536 | 426.9402 | 4   | 2      | 6      | -       |
| 612466.3 | 8385289 | 463.0158 | 5   | 2      | 6      | -       |
| 612792.8 | 8384541 | 520.3548 | 6   | 2      | 6      | -       |
| 613078.7 | 8381743 | 607      | 7   | 2      | 6      | -       |
| 613091.2 | 8381621 | 559.2958 | 8   | 2      | 6      | -       |
| 611348   | 8400216 | 367      | 1   | 3      | 6      | -       |
| 611849.1 | 8400293 | 367      | 2   | 3      | 6      | -       |
| 611302.6 | 8399148 | 371.7077 | 3   | 3      | 6      | -       |
| 610570.7 | 8398678 | 376.2633 | 4   | 3      | 6      | -       |
| 610028.6 | 8398048 | 398.5011 | 5   | 3      | 6      | -       |
| 610311.6 | 8395033 | 408.6477 | 6   | 3      | 6      | -       |
| 610509.7 | 8394647 | 396.9728 | 7   | 3      | 6      | -       |
| 610592.8 | 8393840 | 381.826  | 8   | 3      | 6      | -       |
| 611041.9 | 8393344 | 367      | 9   | 3      | 6      | -       |
| 610996.6 | 8392959 | 367      | 10  | 3      | 6      | -       |
| 610575.8 | 8392894 | 392.5489 | 11  | 3      | 6      | -       |
| 610087.1 | 8392357 | 397      | 12  | 3      | 6      | -       |
| 609455.9 | 8392301 | 443.9998 | 13  | 3      | 6      | -       |
| 609040.1 | 8391959 | 480.1758 | 14  | 3      | 6      | -       |
| 608573.5 | 8392330 | 489.7636 | 15  | 3      | 6      | -       |
| 607904.6 | 8392293 | 471.4133 | 16  | 3      | 6      | -       |
| 607357.5 | 8392569 | 474.2712 | 17  | 3      | 6      | -       |
| 606978.8 | 8392928 | 457      | 18  | 3      | 6      | -       |
| 606560.7 | 8392800 | 463.049  | 19  | 3      | 6      | -       |
| 606942.1 | 8392429 | 536.3576 | 20  | 3      | 6      | -       |
| 608009.4 | 8391825 | 505.0846 | 21  | 3      | 6      | -       |
| 608753.8 | 8391824 | 493.5391 | 22  | 3      | 6      | -       |
| 611350.3 | 8390982 | 367      | 23  | 3      | 6      | -       |
| 611697   | 8390870 | 414.9708 | 24  | 3      | 6      | -       |
| 612374.9 | 8391259 | 427      | 25  | 3      | 6      | -       |

|          |         |          |    |   |   |   |
|----------|---------|----------|----|---|---|---|
| 613548.8 | 8391355 | 433.2184 | 26 | 3 | 6 | - |
| 614853.4 | 8390677 | 517      | 27 | 3 | 6 | - |
| 616466.9 | 8389839 | 427      | 28 | 3 | 6 | - |
| 616960.4 | 8389901 | 427      | 29 | 3 | 6 | - |
| 617444.4 | 8389709 | 450.8157 | 30 | 3 | 6 | - |
| 618720.4 | 8390005 | 408.9525 | 31 | 3 | 6 | - |
| 619535.6 | 8389373 | 468.7572 | 32 | 3 | 6 | - |
| 620636.9 | 8389161 | 385.1623 | 33 | 3 | 6 | - |
| 619202.3 | 8388442 | 463.3628 | 1  | 4 | 6 | - |
| 618676.3 | 8387932 | 458.5211 | 2  | 4 | 6 | - |
| 617493.1 | 8387414 | 436.5976 | 3  | 4 | 6 | - |
| 617190.7 | 8387004 | 414.5778 | 4  | 4 | 6 | - |
| 615835.1 | 8386665 | 487      | 5  | 4 | 6 | - |
| 615239.2 | 8386166 | 503.0178 | 6  | 4 | 6 | - |
| 614803.2 | 8385549 | 443.9302 | 7  | 4 | 6 | - |
| 614313.9 | 8384436 | 424.447  | 8  | 4 | 6 | - |
| 614363.3 | 8383849 | 447.4622 | 9  | 4 | 6 | - |
| 615040.1 | 8381852 | 472.2162 | 10 | 4 | 6 | - |
| 615292   | 8379852 | 397      | 11 | 4 | 6 | - |
| 615196.7 | 8378731 | 381.876  | 12 | 4 | 6 | - |
| 614954.6 | 8377915 | 414.0588 | 13 | 4 | 6 | - |
| 614081.1 | 8376474 | 397      | 14 | 4 | 6 | - |
| 612831   | 8375117 | 422.6648 | 15 | 4 | 6 | - |
| 612463.2 | 8375007 | 433.4098 | 16 | 4 | 6 | - |
| 611272.6 | 8375202 | 439.581  | 17 | 4 | 6 | - |
| 610810.3 | 8374534 | 442.0176 | 18 | 4 | 6 | - |
| 610321.5 | 8374624 | 457      | 19 | 4 | 6 | - |
| 610023.7 | 8374358 | 462.342  | 20 | 4 | 6 | - |
| 609853.9 | 8373683 | 426.8703 | 21 | 4 | 6 | - |
| 609861.2 | 8372927 | 417.6579 | 22 | 4 | 6 | - |
| 609666.7 | 8371709 | 452.227  | 23 | 4 | 6 | - |
| 609470.2 | 8370917 | 422.7624 | 24 | 4 | 6 | - |
| 609507.9 | 8369647 | 412.5998 | 25 | 4 | 6 | - |
| 609427.9 | 8368294 | 397      | 26 | 4 | 6 | - |
| 619295.7 | 8388532 | 457      | 1  | 5 | 6 | - |
| 619202.3 | 8388442 | 465.7266 | 2  | 5 | 6 | - |
| 607918.6 | 8385290 | 427      | 1  | 6 | 9 | 2 |
| 606711.5 | 8387454 | 444.511  | 2  | 6 | 9 | 2 |
| 605636.6 | 8389382 | 397      | 3  | 6 | 9 | 2 |
| 604332.4 | 8391721 | 397      | 4  | 6 | 9 | 2 |

**ANEXO 2 - Arquivo de Afloramentos**

| <b>XPT</b> | <b>YPT</b> | <b>ZPT</b> | <b>COLOUR</b> | <b>DIP</b> | <b>DIPDIR</b> | <b>DESC</b> |
|------------|------------|------------|---------------|------------|---------------|-------------|
| 611525.6   | 8376136    | 458.8265   | 10            | -          | -             | -           |
| 612362     | 8375855    | 497.6269   | 10            | 75         | 70            | BAN         |
| 612185.2   | 8376501    | 589.6014   | 10            | -          | -             | -           |
| 612336.7   | 8376900    | 629.4758   | 10            | -          | -             | -           |
| 613236.4   | 8377234    | 637        | 10            | -          | -             | -           |
| 611864.2   | 8378131    | 583.9285   | 10            | 70         | 250           | FOL         |
| 611477.3   | 8378533    | 577        | 10            | -          | -             | -           |
| 610732.4   | 8379304    | 498.5455   | 10            | -          | -             | -           |
| 610285.6   | 8379583    | 479.2994   | 10            | 60         | 210           | XIS         |
| 608317.9   | 8381251    | 456.2531   | 10            | -          | -             | -           |
| 609338.6   | 8381891    | 439.3398   | 10            | -          | -             | -           |
| 610233.1   | 8381304    | 460.9665   | 10            | -          | -             | -           |
| 610415.6   | 8381886    | 478.0575   | 10            | 50         | 20            | XIS         |
| 610475.8   | 8382102    | 456.4974   | 10            | 70         | 215           | S1          |
| 610088.9   | 8382534    | 438.2889   | 10            | 80         | 210           | FOL         |
| 609162.3   | 8382692    | 475.2542   | 10            | -          | -             | -           |
| 611134.1   | 8382159    | 485.6831   | 10            | -          | -             | -           |
| 613678.8   | 8376064    | 419.7311   | 10            | -          | -             | -           |
| 614139.1   | 8378459    | 557.3371   | 10            | -          | -             | -           |
| 613484.1   | 8379107    | 592.1174   | 10            | -          | -             | -           |
| 613427.3   | 8379845    | 560.5935   | 10            | -          | -             | -           |
| 612391.1   | 8382154    | 547        | 10            | 40         | 60            | XIS         |
| 612388.7   | 8381632    | 542.813    | 10            | 45         | 65            | XIS         |
| 611878.1   | 8381143    | 513.0306   | 10            | 45         | 65            | XIS         |
| 613678.8   | 8376064    | 419.7311   | 10            | -          | -             | -           |
| 614526.2   | 8378088    | 469.9372   | 10            | 55         | 70            | XIS         |
| 614438.9   | 8378549    | 467.36     | 10            | 55         | 70            | FOL         |
| 612274.2   | 8382738    | 564.9271   | 10            | 55         | 230           | XIS         |
| 611379.8   | 8383357    | 513.1561   | 10            | -          | -             | -           |
| 610877.7   | 8384988    | 446.9454   | 10            | -          | -             | -           |
| 612133.7   | 8384737    | 475.4777   | 10            | 50         | 60            | FOL         |
| 611087.1   | 8384833    | 457        | 10            | -          | -             | -           |
| 612314.2   | 8384890    | 485.7479   | 10            | 60         | 25            | FOL         |
| 612673.9   | 8385103    | 465.367    | 10            | -          | -             | -           |
| 611927.9   | 8385445    | 446.7056   | 10            | 55         | 10            | FOL         |
| 613961.4   | 8378921    | 607        | 10            | 45         | 60            | FOL         |
| 614569.7   | 8380946    | 518.4503   | 10            | 30         | 260           | FOL         |
| 613966     | 8386141    | 504.3305   | 10            | 30         | 310           | BAN         |
| 614179.9   | 8387185    | 482.5554   | 10            | 40         | 330           | S0          |
| 613419.6   | 8384454    | 577        | 10            | 45         | 290           | S0          |
| 611418.1   | 8385385    | 480.4394   | 10            | 65         | 330           | FOL         |

|          |         |          |    |    |     |     |
|----------|---------|----------|----|----|-----|-----|
| 610879.9 | 8385479 | 440.9754 | 10 | 30 | 265 | S0  |
| 610013.4 | 8385606 | 423.5088 | 10 | 45 | 225 | FOL |
| 609567.7 | 8386408 | 397      | 10 | 30 | 240 | FOL |
| 609081   | 8384504 | 397      | 10 | -  | -   | -   |
| 609828.1 | 8384409 | 407.618  | 10 | -  | -   | -   |
| 609980.2 | 8384930 | 427      | 10 | 70 | 240 | XIS |
| 609479.6 | 8386685 | 397      | 10 | 30 | 60  | FOL |
| 610080.5 | 8387358 | 391.0214 | 10 | 30 | 280 | FOL |
| 611187.9 | 8387353 | 401.3378 | 10 | 40 | 315 | FOL |
| 611936.8 | 8387380 | 419.1912 | 10 | 45 | 315 | FOL |
| 611785.8 | 8387104 | 408.7413 | 10 | 40 | 300 | FOL |
| 611782.3 | 8386336 | 406.4341 | 10 | 30 | 350 | FOL |
| 611569.7 | 8385784 | 440.3461 | 10 | 40 | 315 | FOL |
| 616185.7 | 8387390 | 475.2786 | 10 | 15 | 295 | FOL |
| 610339.4 | 8378384 | 480.424  | 10 | -  | -   | -   |
| 611673.2 | 8382280 | 522.4734 | 10 | 30 | 40  | XIS |
| 612776.6 | 8381445 | 518.5984 | 10 | -  | -   | -   |
| 612590.1 | 8379757 | 534.2751 | 10 | 50 | 210 | XIS |
| 612138.1 | 8379144 | 567.9479 | 10 | 70 | 245 | FOL |
| 612529.1 | 8386179 | 421.6738 | 10 | 45 | 320 | SN  |