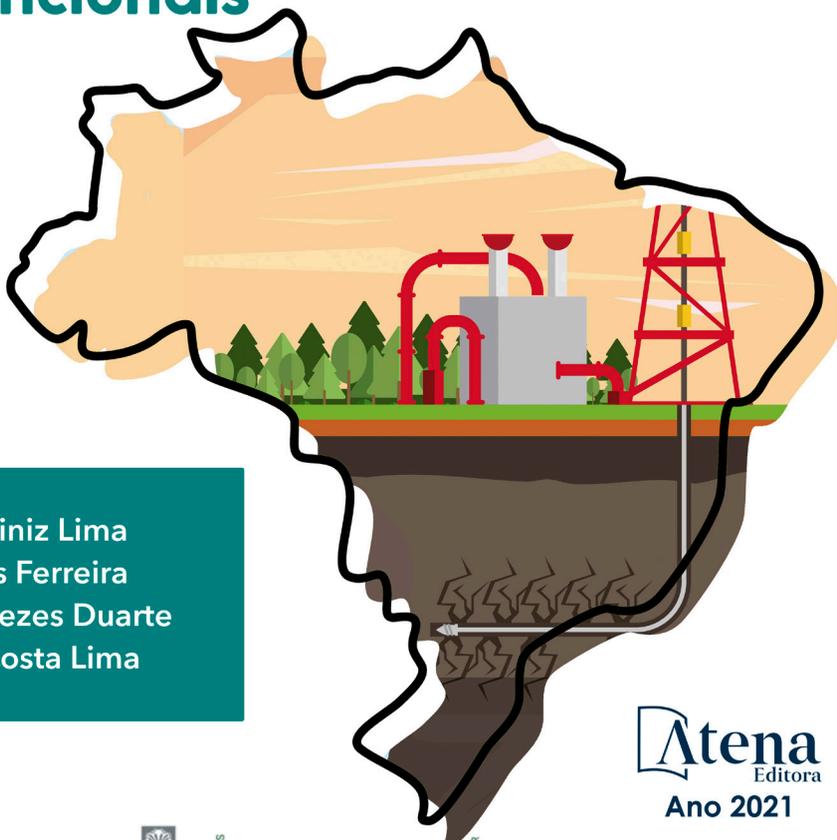


Caracterização Fisiográfica das Bacias Hidrográficas dos rios Indaiá e Borrachudo como Etapa Pré-operacional para a Indústria de Hidrocarbonetos Não Convencionais



Jussara da Silva Diniz Lima
Vinícius Gonçalves Ferreira
Joyce Castro de Menezes Duarte
Gustavo Filemon Costa Lima

Atena
Editora
Ano 2021



Rede Gasbrás
SEÇÃO MINAS GERAIS

COLABORAÇÃO
CIENTÍFICA



DEGEO | EM
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA



CO EXECUTORES



CDT
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO
EM TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS

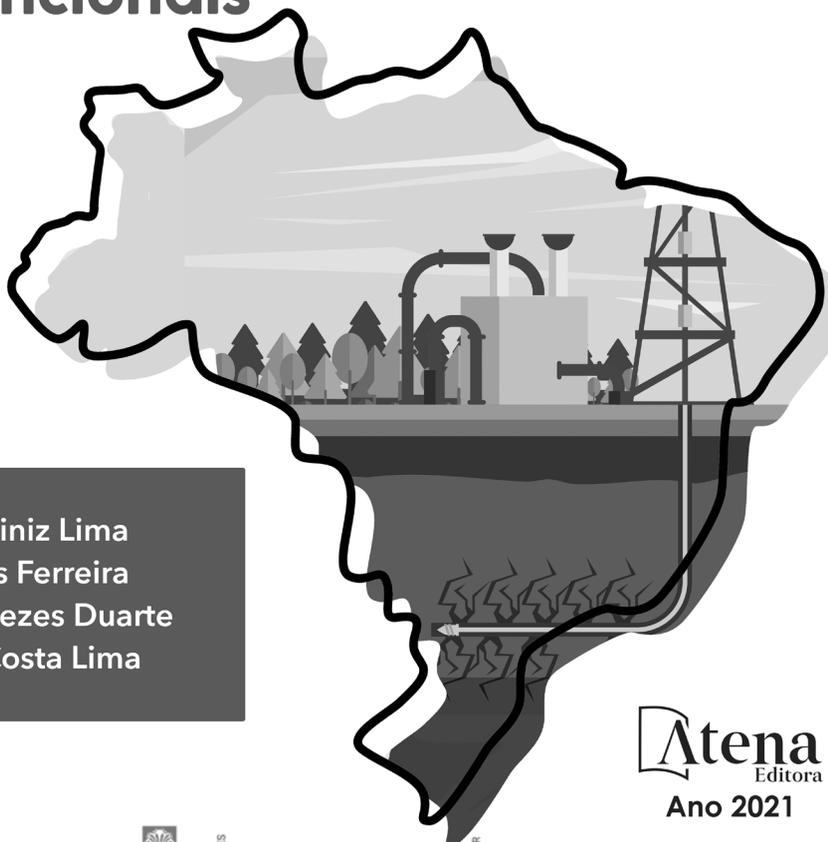
GRUPO
COORDENADOR



acqua recursos minerais
biodiversidade

UFMG
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS

Caracterização Fisiográfica das Bacias Hidrográficas dos rios Indaiá e Borrachudo como Etapa Pré-operacional para a Indústria de Hidrocarbonetos Não Convencionais



Jussara da Silva Diniz Lima
Vinícius Gonçalves Ferreira
Joyce Castro de Menezes Duarte
Gustavo Filemon Costa Lima

Atena
Editora
Ano 2021



Rede Gasbrás
SEÇÃO MINAS GERAIS

COLABORAÇÃO
CIENTÍFICA



DEGEO | EM
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA



CO EXECUTORES



CDTN
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO
EM TECNOLOGIA NUCLEAR

GRUPO
COORDENADOR



acqua recursos minerais
biodiversidade

UFMG
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Coordenação

M.Sc. Renato Ribeiro Ciminelli (Gestor - GASBRAS-MG)
Ph.D. Virgínia Sampaio Teixeira Ciminelli (Pesquisadora Ambiental - UFMG)

Revisão

Ph.D. Rubens Martins Moreira (Pesquisador Ambiental Emérito – CDTN)
Ph.D. Carlos Alberto de Carvalho Filho (Geólogo – CDTN)

Equipe GASBRAS seção MG

Universidade Federal de Minas Gerais – INCT/ACQUA–Recursos Minerais e Biodiversidade
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)
Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Caracterização fisiográfica das bacias hidrográficas dos rios Indaiá e Borrachudo como etapa pré-operacional para a indústria de hidrocarbonetos não convencionais

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os autores
Autores: Jussara da Silva Diniz Lima
Vinícius Gonçalves Ferreira
Joyce Castro de Menezes Duarte
Gustavo Filemon Costa Lima

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C257 Caracterização fisiográfica das bacias hidrográficas dos rios Indaiá e Borrachudo como etapa pré-operacional para a indústria de hidrocarbonetos não convencionais / Jussara da Silva Diniz Lima, Vinícius Gonçalves Ferreira, Joyce Castro de Menezes Duarte, et al. - PR: Atena, 2021.

Outro autor
Gustavo Filemon Costa Lima

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5983-271-2
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.712210207>

1. Bacia Hidrográfica do São Francisco. 2. Aspectos Fisiográficos do São Francisco. 3. Hidrocarbonetos não Convencionais. I. Lima, Jussara da Silva Diniz. II. Ferreira, Vinícius Gonçalves. III. Duarte, Joyce Castro de Menezes. IV. Título.

CDD 918.142

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

AGRADECIMENTOS

A equipe GASBRAS agradece o apoio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CDTN), a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) por todo o apoio estrutural e institucional na execução do trabalho. Agradecemos em especial, a prefeitura e a todos os moradores de Morada Nova de Minas que colaboraram ativamente para o desenvolvimento da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

Os cadernos temáticos são umas das principais entregas do Projeto GASBRAS Seção Minas Gerais. O Projeto é uma rede P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) de gás não convencional no Brasil, constituída por instituições federais, estaduais e não governamentais de todo país, como a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade Federal do Pará (UFPA), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) Universidade de São Paulo (USP), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IG-UFRGS) e Pontífica Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS) amparado financeiramente pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

O intuito da série de Cadernos Temáticos é disponibilizar ao meio acadêmico e a sociedade, estudos relevantes sobre o gás não convencional no Brasil. Cada caderno abordará os principais conceitos e informações do contexto ambiental e socioeconômico no desenvolvimento da indústria do gás não convencional nas bacias sedimentares brasileiras direcionadas ao tema específico.

Dentro do projeto, o núcleo GASBRAS Seção Minas Gerais, formou-se com o foco em estudos sobre avaliação ambiental, regulação e mercado, articulação socioambiental e comunicação, correlata ao gás não convencional no Brasil. A equipe GASBRAS Seção Minas Gerais é composta pela UFMG, pelo CDTN e pela Associação Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental (AIIEGA) de São Paulo. Como instituições parceiras a equipe conta com a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e a Universidad Nacional del Comahue (UNCo – Argentina). Os coexecutores dessa equipe definiram uma área de investigação e monitoramento dentro do contexto da Bacia do São Francisco em Minas Gerais.

Os Cadernos Temáticos conciliam informações técnicas com uma abordagem didática e ilustrativa para tratar assuntos relevantes no contexto da pesquisa, difundindo o conhecimento perante a comunidade acadêmica e a sociedade leiga. O principal intuito destes cadernos é estimular a participação das comunidades no debate sobre a exploração de hidrocarbonetos não convencionais no Brasil.

Os Cadernos Temáticos, portanto, trazem diversas ramificações dentro de toda a pesquisa desenvolvida no Projeto GASBRAS Seção MG. Alunos, professores e pesquisadores, junto com universidades e institutos de pesquisas, transferem todo o conhecimento adquirido ao longo de anos, em páginas de textos ilustrados, a fim de gerar o interesse e o envolvimento do público alvo no mundo ambiental, geológico e químico em sistemas não convencionais para geração de energia.

SUMÁRIO

1I INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Aspectos fisiográficos em bacias hidrográficas.....	1
1.2 Hidrocarbonetos não convencionais	2
1.3 Etapas em uma Indústria não convencional de hidrocarbonetos.....	3
1.4 Entendimento fisiográfico de bacias nas diferentes escalas	4
1.5 Caracterização fisiográfica como etapa pré-operacional na indústria de hidrocarbonetos não convencionais.....	4
2I OBJETIVO.....	6
3I METODOLOGIA.....	7
4I LOCALIZAÇÃO E ACESSO A ÁREA INVESTIGADA	8
5I ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DAS BACIAS.....	9
5.1 Análise morfométrica	9
5.1.1 Área de Drenagem.....	9
5.1.2 Coeficiente de compacidade.....	9
5.2 Geologia	10
5.3 Geomorfologia	12
5.3.1 Relevo.....	12
5.3.2 Declividade.....	16
5.4 Clima	18
5.5 Pedologia	21
5.6 Hidrografia.....	23
5.7 Uso e cobertura do solo.....	25
5.8 Biodiversidade	27
6I CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
REFERÊNCIAS	30
SOBRE OS AUTORES	33

11 INTRODUÇÃO

1.1 Aspectos fisiográficos em bacias hidrográficas

A caracterização fisiográfica de bacias hidrográficas é uma análise das propriedades físicas e de fenômenos naturais presentes neste contexto areal. Trata-se do entendimento que visa contribuir com estudos dos compartimentos hidrológicos e da ocorrência de eventos extremos. Uma bacia hidrográfica representa a unidade fundamental de análises dentro do ciclo hidrológico, uma área definida topograficamente e drenada por um curso de água e/ou sistemas conectados, onde a vazão efluente seja descarregada através de um escape. Sendo assim, ela se separa de outras bacias por partes mais elevadas do relevo (divisores das águas ou interflúvios), onde o seu papel hidrológico é deslocar e transformar uma determinada entrada (chuva) e saída (escoamento-vazão) de volumes de água no tempo (PAZ 2004). Estes movimentos dos recursos hídricos ocorrem devido escoamento superficial e subterrâneo, conectados por afluentes que direcionam suas águas até o rio principal que por sua vez estão localizados geralmente em vales (Figura 01).

BACIAS HIDROGRÁFICAS



Figura 01 - Elementos de uma bacia hidrográfica.

Fonte: Adquirida e adaptada via Depositphotos.

A caracterização fisiográfica de uma ou mais bacias possibilita avanços no conhecimento das possíveis evoluções ambientais e antrópicas associadas, e é útil na gestão ambiental quanto degradações relacionadas ao uso e cobertura do solo. As

avaliações acerca dos dados quanto aos elementos físicos de bacias hidrográficas nas últimas décadas utilizam-se do geoprocessamento SIG (Sistema de Informação Geográfica). Por esta razão, esta manipulação de dados tem facilitado sua organização, interpretação e apresentações de resultados, além do planejamento e da tomada de decisões relativas ao espaço geográfico.

Uma abordagem ambiental iniciada pela caracterização dos aspectos fisiográficos de bacias ou mesmo sub-bacias hidrográficas, dentro do contexto de exploração de reservas de hidrocarbonetos não convencionais em etapa pré-operacional, torna-se crucial quanto ao entendimento dos comportamentos dos elementos físicos nas diferentes escalas de atuação dos estudos (local, sub-regional e regional).

1.2 Hidrocarbonetos não convencionais

Acumulações convencionais de hidrocarbonetos em folhelhos ou outro litotipo rico em matéria orgânica, constituem a rocha-fonte do óleo/gás, gerados após passar por soterramento, processos de pressão e temperaturas apropriados (DAVIS et al. 2015). Ao longo dos milhões de anos (tempo geológico) esses hidrocarbonetos migram da rocha geradora ou fonte e se acumulam em reservatórios porosos (normalmente arenitos ou carbonatos) em armadilhas discretas e/ou em altos estruturais nas margens dos centros da bacia (este tipo comum de ocorrência retrata os reservatórios convencionais). Já em acumulações de hidrocarbonetos não convencionais (como *Shale Gas* e *Tight Gas*), a rocha geradora atua como fonte e reservatório, extensos em magnitude e volumes na bacia e se tornam alvos de exploração mesmo que tenham o fator negativo da baixa permeabilidade (Figura 02). Este fato desponta a necessidade de avanços tecnológicos para a geração de estímulos na rocha em grandes profundidades (exemplo: fraturamento hidráulico) no intuito de aumentar a permeabilidade ao redor do poço de produção de hidrocarbonetos, ditos como não convencionais (THOMAZ 2004, MILANI et al. 2001).

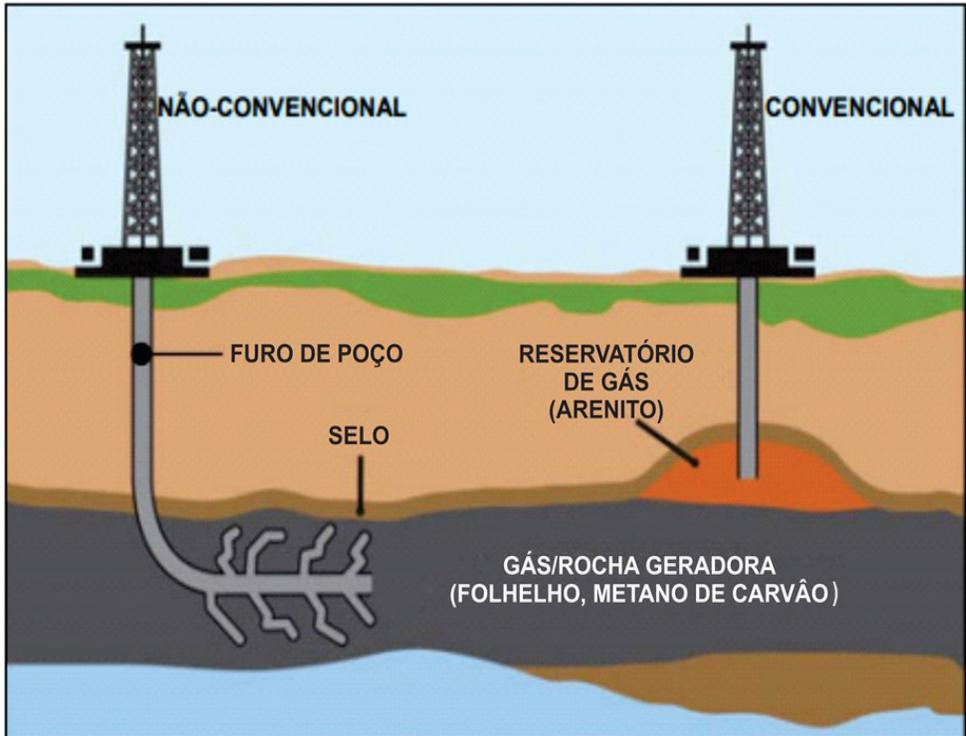


Figura 02 - Desenho esquemático da produção de gás natural convencional e não-convencional (MODIFICADO de BC OIL & GAS COMMISSION 2010).

1.3 Etapas em uma Indústria não convencional de hidrocarbonetos

As etapas de um projeto de produção de hidrocarbonetos não convencionais contêm uma variedade de atividades que na maioria das vezes são comuns aos empreendimentos convencionais. Há vários estágios descritos na literatura, mas para permitir uma descrição resumida, seis estágios em sequências são apresentados, segundo DAVIS et al. 2015.

- Exploração não intrusiva;
- Perfuração exploratória e fraturamento hidráulico;
- Desenvolvimento da produção;
- Produção / operação / manutenção;
- Descomissionamento de poços;
- Restauração e devolução do local.

Sendo assim, uma etapa pré-operacional converge, portanto, em atividades de trabalhos que norteiam e antecedem a exploração não intrusiva como a identificação, seleção e obtenção de consentimento regulamentar do local. As atividades do pré-

conhecimento fisiográfico podem apoiar nos aprofundamentos quanto ao conhecimento geológico, hidrogeológico e ecológico no monitoramento ambiental e no mapeamento das conectividades hidrológicas subterrâneas. Estes entendimentos necessitam de uma abordagem regional, bem como em escalas locais, tendo em vista que certos setores de uma bacia sedimentar geológica podem apresentar particularidades naturais ou antrópicas.

1.4 Entendimento fisiográfico de bacias nas diferentes escalas

Diversos estudos têm encontrado evidências científicas acerca das atividades de fraturamento hidráulico impactar recursos de água potável sob algumas circunstâncias (EPA 2012). Não por acaso, muitos estudos ambientais internacionais, realizados no âmbito da indústria dos hidrocarbonetos não convencionais, tem abordado seus estudos dentro do escopo dos recursos hídricos e do seu ciclo natural. Estes tipos de avaliações focam em corpos d'água, sejam águas subterrâneas e superficiais, sejam quanto aos ecossistemas associados. Por esta razão, a utilização e o conhecimento fisiográfico envolvidos em bacias hidrográficas são meios de avaliações pré-operacionais fundamentais na indústria de hidrocarbonetos não convencionais. A caracterização fisiográfica de bacias, como o conhecimento da geologia em profundidade e das condições hidrogeológicas, necessita de uma abordagem em diversas escalas: regional, sub-regional e local. Uma abordagem preventiva nestes níveis, adotando unidades de bacias e sub-bacias hidrográficas para realização de monitoramento em escopo e extensão, podem ser fundamentais e capazes de descrever a geografia física, as pressões gerais ao meio ambiente, distinguir impactos de atividades variadas e abordar impactos cumulativos (EPA 2012).

1.5 Caracterização fisiográfica como etapa pré-operacional na indústria de hidrocarbonetos não convencionais

O entendimento dos principais aspectos fisiográficos, usando uma ou mais unidades areais de bacias hidrográficas, são capazes de dar alicerces dos conhecimentos acerca do levantamento de elementos do meio físico-ambiental em contexto de etapa Pré-Operacional da Indústria de Hidrocarbonetos Não Convencionais. Estes entendimentos tornam-se importantes para demais estudos aprofundados como de impacto ambiental (EIA) ou até mesmo no planejamento ambiental de monitoramento contínuo. Portanto, uma caracterização geral dos aspectos fisiográficos deste tipo de unidade areal que é a bacia hidrográfica, permite avaliar fenômenos modificadores e fornecem bases para estudos de impactos inerentes ou não às atividades de indústria extrativista como de hidrocarbonetos, sendo, portanto, crucial para sociedade, para os órgãos públicos e para setores industriais empreendedores.

A tabela 01 apresenta algumas avaliações que podem ser realizadas e aprofundadas a partir do conhecimento inicial sobre os aspectos fisiográficos de bacias hidrográficas dentro do contexto de Etapa Pré-operacional de Hidrocarbonetos não convencionais, utilizando outros trabalhos que fizeram abordagem similar como por exemplo DAVIS et al. 2015, PRADO et al. 2010 e MENDES et al. 2017. As avaliações são diversificadas e por isso podem ser ponderadas quanto a fatores diretamente ou indiretamente impactantes.

Portanto, pelo exposto na tabela 01, a utilização da bacia hidrográfica como

unidade representativa dentro de um estudo ambiental no contexto de regiões com potencial para produção de gás não convencional, possibilita conjugar fatores fisiográficos diversos e integrados no espaço geográfico. Os fatores, ao serem levantados para uma bacia hidrográfica nas diferentes escalas (regional, sub-regional ou local), possibilitarão conhecer o sistema ambiental, como fornecerão suporte e embasamento em propostas mais aprofundadas, seja sobre pesquisas das geociências ambientais, seja no auxílio de tomadas de decisões e condicionantes perante implementação de relatórios técnicos, protocolos e regulações ambientais.

Aspecto Fisiográfico	Tipo de Avaliação Ambiental em Etapa Pré-operacional de indústria de Gás
Análise Morfométrica	<ol style="list-style-type: none"> 1- Das potencialidades de inundações da bacia 2- Da gênese de propagação e deposição de fluxo de detritos 3- Auxiliar na avaliação da suscetibilidade da bacia
Geologia	<ol style="list-style-type: none"> 1- Das caracterizações das unidades litológicas que funcionam como geradoras e reservatórios de baixa permeabilidade de gás além de sistema de trapas selos locais e regionais 2- Das caracterizações das unidades hidrogeológicas, úteis na construção de modelos e fluxos de água subterrânea 3- Da caracterização de estruturas como falhas e fraturas presentes e úteis no mapeamento de riscos em uma atividade de indústria de gás não convencional 4- Nas abordagens geológicas únicas da bacia regional e local.
Geomorfologia	<ol style="list-style-type: none"> 1- Dos compartimentos de relevos presentes 2- Quanto aos conhecimentos dos tipos geomorfológicos e de declividade. 3- Na avaliação de susceptibilidade ou não aos impactos antrópicos
Clima	<ol style="list-style-type: none"> 1- Das condições climáticas locais e regionais 2- Sobre uma avaliação quantitativa de entrada e saída de água em um balanço hidrológico 3- Análise histórica de eventos extremos
Pedologia	<ol style="list-style-type: none"> 1- No entendimento dos tipos de coberturas e do grau de vulnerabilidade das águas subterrâneas quanto aos potenciais contaminantes em superfícies inerentes de uma indústria de gás
Hidrologia	<ol style="list-style-type: none"> 1- Avaliação qualitativa e quantitativa dos pontos de águas superficiais, subterrânea e pluviais 2- Útil nos estudos sobre susceptibilidade e/ou dos tipos de contenções contra poluentes na superfície até às águas superficiais e subterrâneas 3- Fornecem bases para a construção de modelos hidrogeológicos e entendimento de fluxo de águas subterrâneas.
Hidrologia (continuação)	<ol style="list-style-type: none"> 4- Quanto ao consumo de água associado às atividades em uma indústria de gás 5- Direcionamento dos compartimentos industriais em terrenos que ofereçam menor risco hidrológico como inundação
Uso e Cobertura do Solo	<ol style="list-style-type: none"> 1- Na avaliação sobre aspectos geográficos dos terrenos para plataforma e oleodutos 2- Na verificação dos principais tipos naturais e antrópicos da cobertura/uso do solo 3- Dos impactos potenciais ecológicos e ambientais associados ao tipo uso do solo
Biodiversidade	<ol style="list-style-type: none"> 1- Sobre perdas diretas e indiretas e/ou fragmentação de habitats/espécies de fauna e flora (terrestre e aquática)

Tabela 01- Relação dos aspectos fisiográficos com tipos de avaliações ambientais em cenário da indústria de gás

2I OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi sintetizar e apresentar os levantamentos sobre análises fisiográficas em um contexto de estudo pré-operacional de uma reserva potencial para indústria de hidrocarbonetos não convencionais. O caderno pretende utilizar critérios de seleção de bacias hidrográficas ao se realizar levantamentos e entendimentos ambientais úteis em pelo menos três escalas de avaliação e dentro do contexto de uma bacia petrolífera. A caracterização fisiográfica conduz a entrega de análises integradas quanto aos aspectos físicos e ambientais que foram abordadas em escala sub-regional ao se utilizar bacias hidrográficas dentro da bacia do São Francisco e que poderão ser úteis em estudos mais minuciosos ou mesmo naqueles mais amplos da bacia, reconhecida como reserva geológica de hidrocarbonetos não convencionais, conforme diversas publicações especializadas como da Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis – ANP e o Ministério de Minas e Energia – MME.

3I METODOLOGIA

Para a operacionalização da avaliação da área de investigação que compõem duas bacias hidrográficas, utilizou-se programas de software que editassem dados em formato SIG, levantados em diversos estudos já realizados e disponibilizados em sites e plataformas de instituições de pesquisas e que estão apresentados na Tabela 02. Quanto ao tratamento e edição dos dados, eles foram colocados primeiramente tanto em coordenadas Universal Transversa Mercator (UTM) Fuso 23S como também geográficas, ambas no Datum SIRGAS 2000. A parte de manipulação foi realizada pelo software ArcGIS 10.2.2, da empresa *Environmental Systems Research Institute-ESRI*. As imagens e mapas finais apresentados neste caderno temático vieram do processamento dos *shapefiles* que por vezes foram editados e modificados para adaptação do conhecimento dos elementos fisiográficos da área de investigação.

Dados SIG	Usado para	Referência
Rodovias	Elaboração de mapa com acessos	DEER/IEDE MG/DNIT 2019
Geologia (escala 1:100.000)	Elaboração de mapa geológico e sistemas aquíferos com base nas unidades litológicas sedimentares	CODEMIG 2013
Geomorfologia (escala 1:2.500.000)	Elaboração de mapa com informações dos domínios e compartimento de relevos	GEODIVERSIDADE/CPRM 2010
Clima (escala 1:5.000.000)	Elaboração de mapa do clima referente todo o estado de Minas Gerais/MG	IBGE 2002
Pedologia (escala de 1:650.000)	Elaboração de mapa pedológico para área de investigação.	FEAM/UFV 2010
Uso e cobertura do solo (escala de 1:1.000.000)	Elaboração dos Mapas de Uso e Cobertura de Solo para área de investigação	MAPBIOMA 2019
Biodiversidade (escala de escala 1:5.000.000)	Elaboração do Mapa de Biodiversidade com áreas de prioridades de conservação	IEF/ICMBIO 2013
Modelo Digital de Elevação (resolução de 30m)	Caracterização de altimetria e de drenagens	USGS 2020
Sistema de Ottobacias	Usado para delimitar as bacias hidrográficas	ANA 2020

Tabela 02 – Dados SIG utilizados e suas referências no âmbito da avaliação dos aspectos fisiográficos das bacias hidrográficas do Indaiá e Borrachudo.

4I LOCALIZAÇÃO E ACESSO A ÁREA INVESTIGADA

O estudo levantou dados fisiográficos para as regiões que compreendem as bacias dos rios Indaiá e Borrachudo em Minas Gerais e que fazem parte da bacia hidrográfica e geológica denominada São Francisco. Segundo informações de estudos e pesquisas realizadas, a área se insere dentro de uma reserva estratégica potencial de gases no contexto da bacia do São Francisco.

A área de investigação está localizada a noroeste de Belo Horizonte, no alto da bacia hidrográfica do rio São Francisco (Figura 03). Os municípios que englobam a área investigada, são: Córrego Danta, Santa Rosa da Serra, Estrela do Indaiá, Serra da Saudade, Quartel Geral, São Gotardo, Matutina, Tiros, Cedro do Abaeté, Paineiras, Biquinhas, Morada Nova de Minas e São Gonçalo do Abaeté. Estes municípios se inserem na mesorregião Alto Paranaíba até a região de Três Marias, integrando a represa homônima.

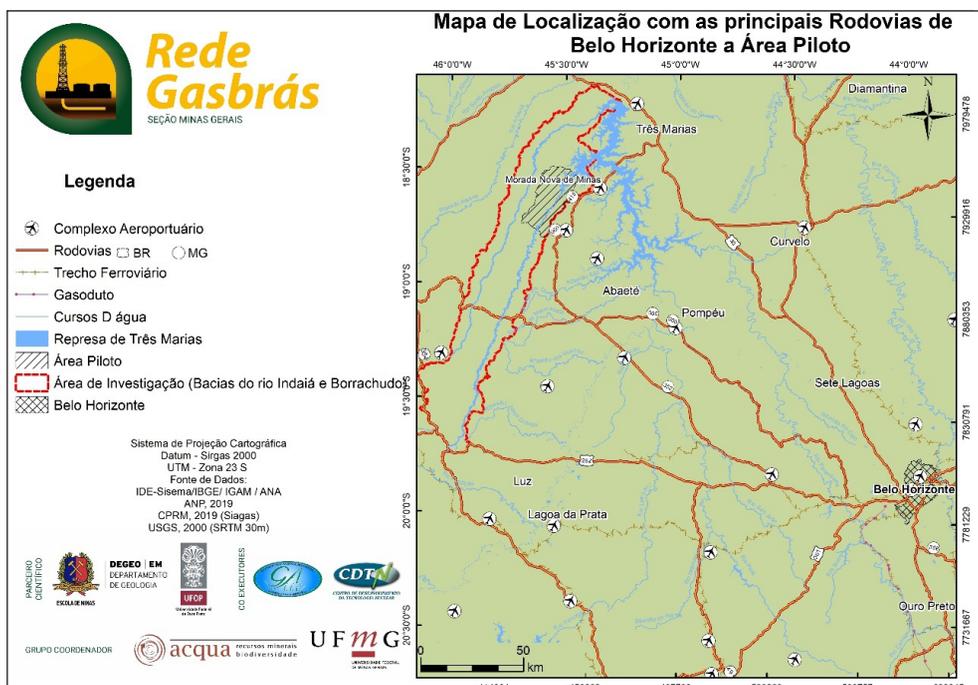


Figura 03 - Mapa de Localização da área de investigação com as principais rodovias em Minas Gerais. Dentro da área de investigação destaca uma área piloto, usado para testes preliminares da rede de monitoramento.

5I ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DAS BACIAS

5.1 Análise morfométrica

5.1.1 Área de Drenagem

A área de drenagem (A) é a projeção horizontal (superfície plana) limitada por divisores topográficos, que formam o seu perímetro. Esta informação é o elemento básico para o cálculo das outras características fisiográficas (PAZ 2004). A área e o perímetro da Bacia do Rio Indaiá são 2.888 km² e 463 km respectivamente, enquanto que a Bacia do Rio Borrachudo possui 1.600 km² de área e 388 km de perímetro.

5.1.2 Coeficiente de compacidade

Trata-se da relação entre o perímetro da bacia (P) e a circunferência de um círculo de área (A) igual à da bacia (K_G). O parâmetro é também conhecido como Índice de forma (Gravelius). Quanto mais próximo de uma unidade (1,0), maior será a tendência da bacia a enchentes, ou seja, mais radial e próximo de um círculo será a bacia (Figura 04). Este fato ocorre, pois sob uma chuva extensa, um certo volume precipitado em toda bacia, chegará ao rio principal praticamente ao mesmo tempo, o que favorece a formação de enchentes.

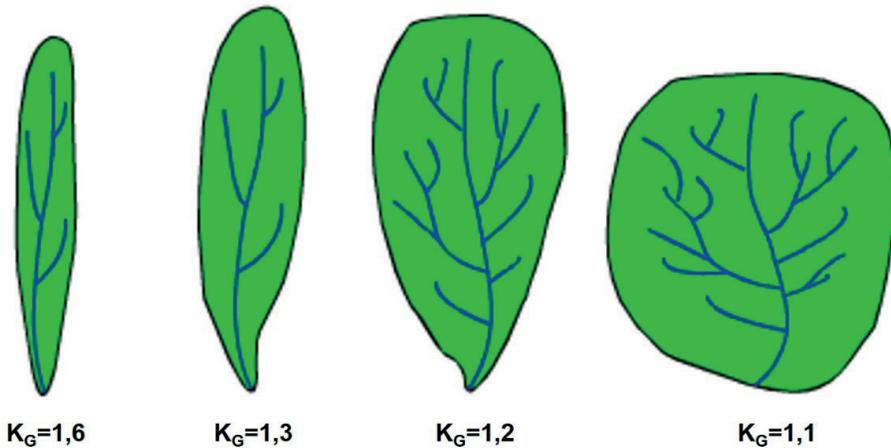


Figura 04 – Formas aproximadas de bacias hidrográficas correlacionado com seu Índice de forma (KG).

A equação do Índice de Forma é dada por:

$$K_G = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \text{ sendo,}$$

K_G = Índice de Forma (Gravelius); P = Perímetro da Bacia (km) e A = Área da Bacia (km²).

K_G	Características da Bacia
1,00 – 1,25	Alta Propensão a Grandes Enchentes
1,25 – 1,50	Tendência Mediana a Grandes Enchentes
>1,50	Não Sujeita a Grandes Enchentes

Tabela 03 - Índice de Forma e as características da bacia quanto a presença de enchentes.

Assim, ao realizar os cálculos com base na equação de índice de forma (K_G) para as bacias hidrográficas em questão obtêm-se valores de 2,3 e 2,7 para Indaiá e Borrachudo, nesta ordem. Conforme descrito na Tabela 3 conclui-se que se tratam de duas bacias não sujeitas a grandes enchentes (>1,5) e com o formato mais alongado da figura 04.

5.2 Geologia

As bacias hidrográficas dos rios Indaiá e Borrachudo são preenchidas principalmente por um conjunto de rochas pelito-carbonáticas¹ e ao topo siliciclásticas², denominado Grupo Bambuí. Esta unidade, formada entre 740 e 550 milhões de anos atrás em um ambiente de sedimentação marinho, pode ser subdividida na área em pelo menos cinco unidades menores, a saber (da base para o topo-mais recente):

1. Formação Sete Lagoas (0,1%): geralmente representadas por litotipos carbonáticos e níveis pelíticos e margosos. Localmente aflorantes na parte norte (Figura 05) onde é composta por calcário químico (lama carbonática) cinza escuro, frequentemente com níveis de margas de coloração bege e, por vezes, com calcários aloquímicos cinza claros (COSTA et al. 2011).

2. Formação Serra de Santa Helena (2,0%): constituída predominantemente por litotipos pelíticos e/ou com arenitos finos e níveis carbonáticos. Localmente é aflorante na parte norte (Figura 05), caracterizada por sequências pelíticas compostas por intercalações de siltitos e argilitos que afloram na Zona de Cisalhamento de Traçadal (COSTA et al. 2011).

3. Formação Lagoa do Jacaré (0,4%): representada geralmente por litotipos carbonáticos e níveis pelíticos. Localmente, caracteriza-se por uma sucessão de carbonatos acinzentados com alguma contribuição de frações margosas e terrígenas, encontrados na parte central-norte da área de estudo (REIS 2011).

1 Rochas pelíticas - rocha cujos componentes principais são da fração argilosa e do silte e que se originam pela litificação de lammas (WINGE, M. et. al. 2001 – 2021).

2 Rochas siliciclásticas - são rochas formadas por sedimentos não carbonáticos à base de sílica que foram fragmentados de outras rochas pré-existentes, transportados para outro local e depositados antes de formar outra rocha. Conglomerados, arenitos e siltitos são alguns exemplos.

4. **Formação Serra da Saudade (58,5%)**: constituído por rochas predominantemente pelíticas com níveis de rochas carbonáticas. Localmente, ao sul da área (Figura 05), a unidade é englobada por siltitos e argilitos rosados a acinzentados, associados com siltitos verdes, denominados na literatura como verdetes (Branco & Costa 1961 apud Dias et al. 2011). Quanto a parte central e norte da área de investigação (Figura 05) a unidade é predominantemente constituída por siltito e argilito, sendo localmente intercalados com frações margosas e calcareníticas. Esta unidade representa a que possui maior área aflorante.

5. **Formação Três Marias (19,6%)**: compreende o término do ambiente marinho e constituído por litotipos siliciclásticos como arenitos e arcóseos (Figura 05). Localmente é composta por arenito micáceo, arenito arcoseano, arcóseo e argilito. É a unidade com a segunda maior área aflorante e de ocorrência exclusiva na porção norte da área de estudo.

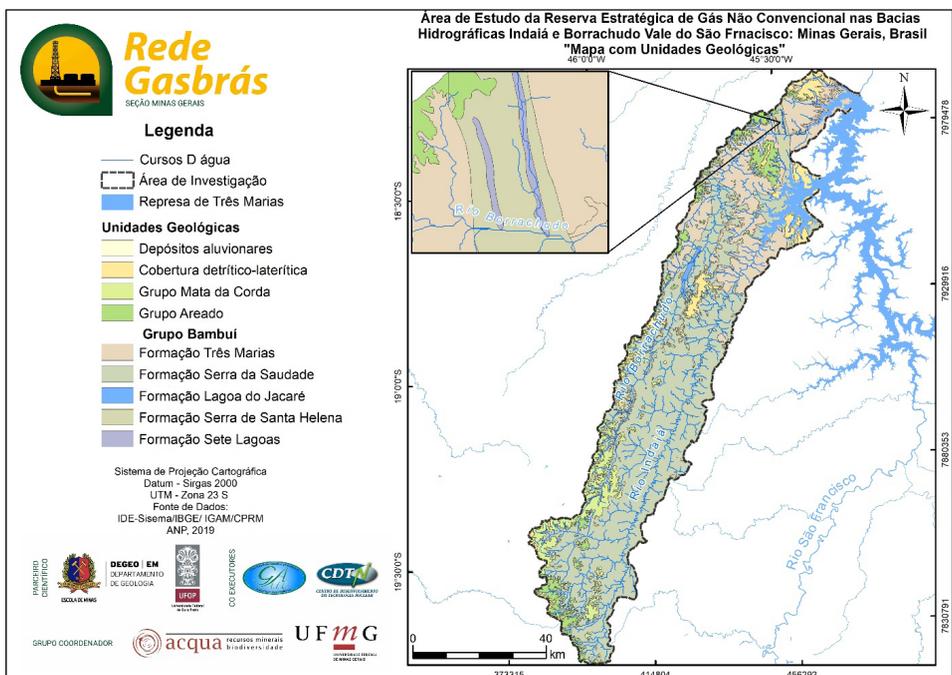


Figura 05 – Mapa com unidades geológicas na área de investigação

Já ao longo de cotas elevadas, encontram-se os litotipos do Grupo Areado (5,5%) que se refere a rochas de idade do cretáceo inferior e rochas do Grupo Mata da Corda representando, neste caso, rochas datadas do cretáceo superior. O Grupo Areado é representado por arenitos de colorações variáveis (DIAS et al. 2011); na parte central a norte da área de investigação é composta por arenitos vermelhos (REIS 2011), arenitos líticos feldspáticos avermelhados e arenitos silicificados (COSTA et al. 2011). Esta unidade

de sedimentação ocorreu em continente, mais especificamente em ambiente de leques aluviais, por vezes fluviais, eólicos e/ou lacustres. O Grupo Mata da Corda (6,3%) é composto ao sul por rochas vulcânicas alcalinas efusivas e piroclásticas, plutônicas alcalinas e sedimentares epiclásticas. Em geral são argilitos, arenitos líticos e conglomerados (DIAS et al. 2011). Na parte central e norte da área o Grupo Mata da Corda é representado por litotipos vulcanoclásticos e epiclásticos. As rochas vulcanoclásticas são representadas por tufo cinerítico, lapilli-tufo e aglomerado, com ocorrência local de brechas vulcânicas (REIS 2011).

Há também as coberturas e depósitos de idade neógeno-quartenária. As coberturas detrito-lateríticas (5,4%) são representados por cobertura de areias, cascalhos angulosos e material siltico-argiloso, em geral inconsistente, mas em certos locais parcial a totalmente lateritizado. Já os depósitos aluvionares (0,1%) caracterizam por sedimentos fluviais e localmente constituídos por sedimentos fluviais geralmente arenosos e com eventuais termos lamosos e rudíticos. Estes restringem na parte central onde se distribuem irregularmente nas planícies aluviais dos principais eixos de drenagem.

5.3 Geomorfologia

5.3.1 Relevo

O aspecto sobre a forma de relevo é resultado dos processos associados às suas dinâmicas internas e externas, atuantes na superfície terrestre ao longo do tempo geológico (SAADI 1991). Portanto, a geomorfologia de uma área é derivada da evolução tectônica somada às ações de ordem climáticas atuantes.

Os morros testemunhos na área, de maneira geral, apresentam-se em direção aproximadamente sudoeste-nordeste e noroeste-sudeste, sendo sustentados por rochas cretáceas do Grupo Areado e Mata da Corda. O relevo é ondulado nos chapadões com drenagens muitas vezes encaixadas. As áreas rebaixadas encontram-se próximas aos leitos dos rios Borrachudo e Indaiá, principalmente quando se aproximam da represa de Três Marias a nordeste, enquanto as áreas com maiores altitudes observam-se o inverso, ou seja, ocorrem a sudoeste da área pesquisada e distantes (120-160 km) da represa, nas cabeceiras dos rios Indaiá e borrachudo.

A área investigada, segundo CPRM (2010), através do estudo geomorfológico e com base nos tipos de processos atuantes (agração e denudação) e nos tipos litológicos presentes, contém os seguintes domínios geomorfológicos (Figura 06): 1- Domínios das coberturas sedimentares Proterozoicas não ou muito pouco dobradas e metamorizadas (65%), 2- Domínios das Sequências Proterozoicas dobradas, metamorizadas em baixo grau a médio grau (13%), 3- Domínio das coberturas Sedimentares e Vulcanosedimentares Mesozóicas e Paleozóicas pouco a moderadamente consolidadas, (7%) 4- Domínio dos sedimentos Cenozoicos e Mesozoicos pouco a moderadamente consolidadas associados a profundas e extensas bacias continentais (9%) e 5- Domínio das coberturas Cenozóicas Detrito-Lateríticas (6%).

A maior parte da área investigada é representada pelo Domínios das coberturas sedimentares Proterozoicas pouco dobradas localizados em quase totalidade na bacia

do rio Indaia. Já na Bacia do rio Borrachudo este domínio está localizado apenas nas proximidades da represa Três Marias, ao norte. Outros domínios bem presentes são Domínios das Sequências Proterozoicas dobradas, metamorizadas em baixo grau a médio grau Declividade (13%) e Domínio das coberturas Sedimentares e Vulcanossedimentares Mesozóicas e Paleozóicas pouco a moderadamente consolidadas (8%).

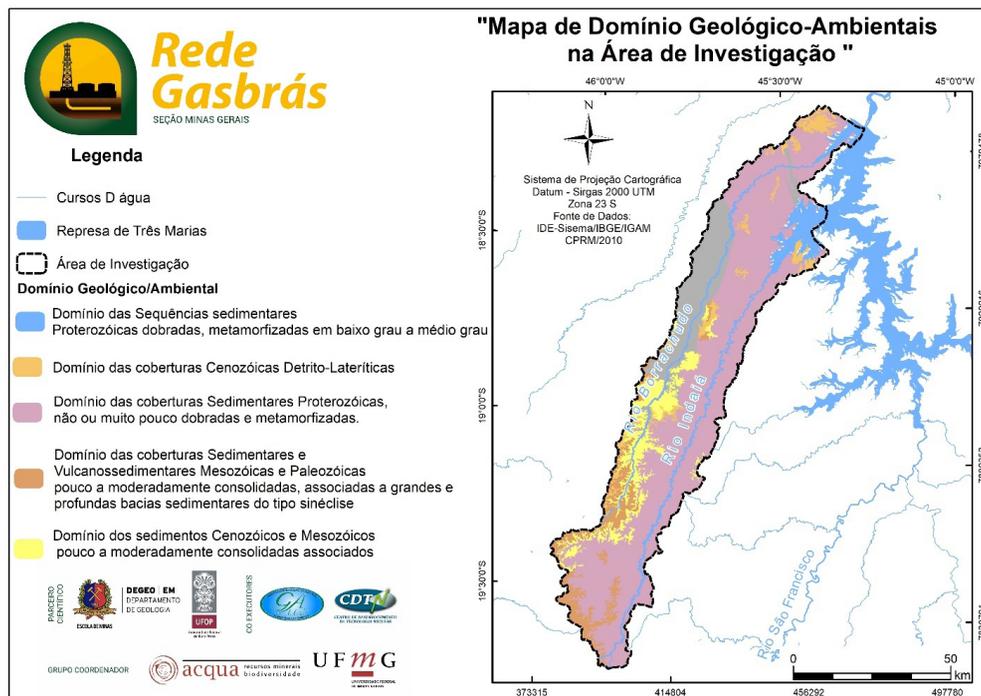


Figura 06 – Mapa de domínio geológico-ambientais na área de investigação.

Os domínios geomorfológicos foram segmentados em padrões de relevo menores e estão apresentados na Figura 07 e detalhados a seguir.

1. Domínios das coberturas sedimentares Proterozoicas não ou muito pouco dobradas e metamorizadas:

Eles são formados por coberturas sedimentares antigas e bem representativos no estado de Minas Gerais. Apresentam formas de relevos que são sustentadas por litologias como arenito, arcóseo, siltito e calcário. A unidade Geológico-Ambiental que prevalece neste tipo de domínio no contexto da área investigada é o “Predomínio de sedimentos siltico-argilosos, com intercalações subordinadas de rochas calcárias” em grande parte condizentes aos litotipos da Formação Serra da Saudade, configurando compartimentos de relevos diversos (Figura 07), citados a seguir:

a- Domínios de Colinas Amplas e Suaves

- b- Vales Encaixados
- c- Planaltos e Baixos Platôs
- d- Domínios de Morros e Serra Baixas
- e- Escarpas Serranas
- f- Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos
- g- Domínios de Colinas Dissecadas e Morros Baixos

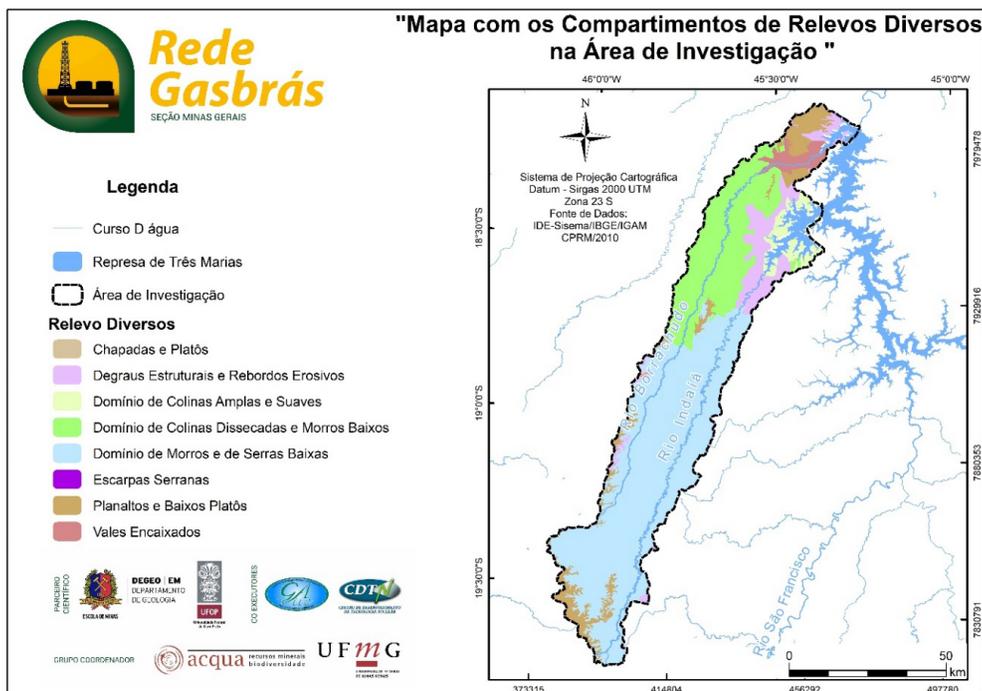


Figura 07 - Mapa com os compartilhamentos de relevos diversos na área de investigação

2. Domínios das Sequencias Proterozoicas dobradas, metamorizadas em baixo grau a médio grau:

Unidade que possui sua origem associada à sedimentação em grandes bacias oceânicas, e que no tempo geológico sofreram processos de tectonismo, responsáveis por sua exposição em superfície.

A unidade geológico-ambiental que compõem esse domínio apresentam diferentes litotipos que sustentam o relevo: calcários, calcarenitos, calcissiltitos. A unidade Geologico-Ambiental que prevalece neste tipo de domínio no contexto da área investigada é o "Predomínio de metacalcários, com intercalações subordinadas de metassedimentos siltico-argilosos e arenosos", configurando compartimentos de relevos diversos (Figura 07),

citados a seguir:

- a- Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos
- b- Domínio de Morros e de Serras Baixas
- c- Vales Encaixados
- d- Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos
- e- Planaltos e Baixos Platôs

3. Domínio das coberturas Sedimentares e Vulcanossedimentares Mesozóicas e Paleozóicas pouco a moderadamente consolidadas, associadas a grande e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise

A unidade geológico-ambiental que constitui este domínio na área de investigação é a “Predomínio de arenitos vulcanoclásticos (Tufos cineríticos)”, que compõe os litotipos que sustentam os relevos e configurando compartimentos diversos (Figura 07), citados a seguir:

- a- Domínio de Morros e de Serras Baixas
- b- Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos
- c- Planaltos e Baixos Platôs
- d- Chapadas e Platôs

4. Domínio dos sedimentos Cenozóicos e Mesozóicos pouco a moderadamente consolidadas associados a profundas e extensas bacias continentais:

Domínio constituído por arenitos, arenitos conglomeráticos e pelitos, que exibem empilhamento irregular de camadas. Esse domínio que sustenta relevos diversificados foi formado a partir de detritos depositados em grandes depressões originadas por diferentes processos tectônicos. Assim, a unidade geológico-ambiental que constitui este domínio na área de investigação é a “Intercalações de sedimentos arenosos, siltico-argilosos e folhelhos”, que é composto por litotipos que sustentam os relevos e configurando compartimentos diversos (Figura 07), citados a seguir:

- a- Domínio de Morros e de Serras Baixas
- b- Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos

5. Domínio das coberturas Cenozóicas Detrito-Lateríticas

Esse domínio compreende terrenos onde ocorrem processos de alteração intempérica, que originam coberturas ricas em detritos ferruginosos, que sustentam diferentes relevos. A unidade geológico-ambiental que constitui este domínio na área de investigação é a “Depósitos detrito-lateríticos - Proveniente de processos de lateritização em rochas de composições diversas sem a presença de crosta”, é composto por materiais diversificados: laterita, areia, silte e argila.

- a- Domínios de Colinas Amplas e Suaves
- b- Domínio de Morros e de Serras Baixas
- c- Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos
- d- Planaltos e Baixos Platôs

5.3.2 Declividade

O levantamento para declividade resultou em um mapa que teve por objetivo demonstrar quantitativamente as inclinações presentes e concretizar indagações quanto as formas de relevos presentes. As classificações de relevo foram feitas a partir de declividades em porcentagens com base na classificação segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA 1999), apresentada na Tabela 04.

Classe	Faixa (%)
Plano	0 a 3
Suave Ondulado	3 a 8
Ondulado	8 a 20
Forte Ondulado	20 a 45
Montanhoso	45 a 75
Escarpado	Acima de 75

Tabela 04 - Classificação da declividade (EMBRAPA 1999)

De acordo com o mapa da figura 08, as classes quanto à declividade inserida na área de investigação foram: plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado, tendo a variação de altitude de 593m a 1226m conforme figura 09.

A importância de um tema de estudo como este é representar espacialmente áreas com menor ou maior predominância à susceptibilidade de ocorrência de erosão, ou seja, maior inclinação sugere maior susceptibilidade a erosão. Além disso, a declividade pode influenciar na velocidade de escoamento superficial da água e assim nortear as instituições públicas quanto à gestão aos impactos ambientais naturais e que muitas vezes são acelerados pela interferência antrópica.

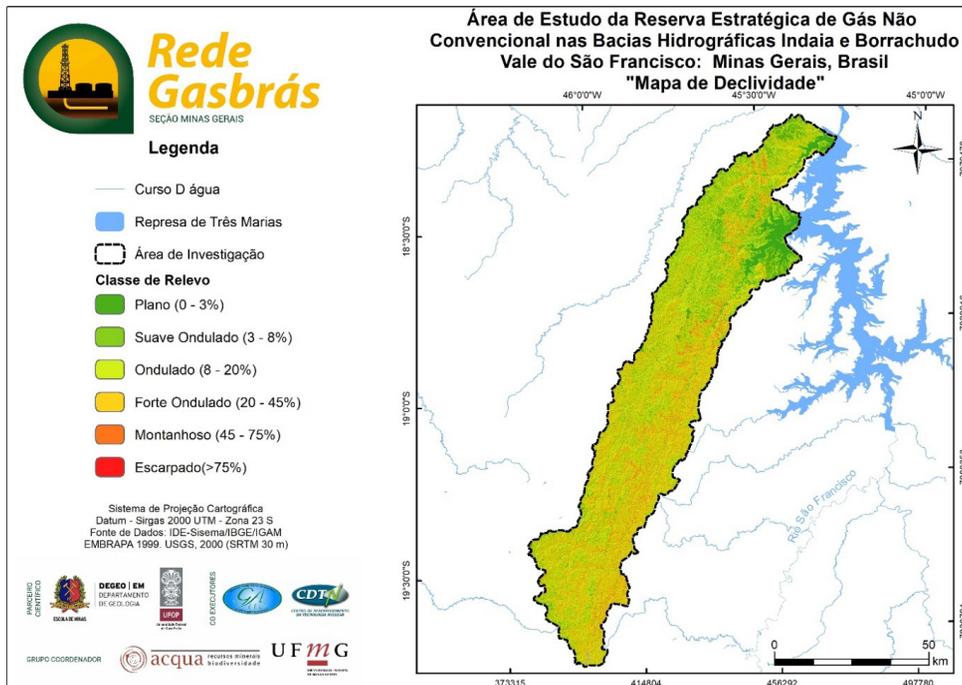


Figura 08 - Mapa com classe de relevo da área de investigação

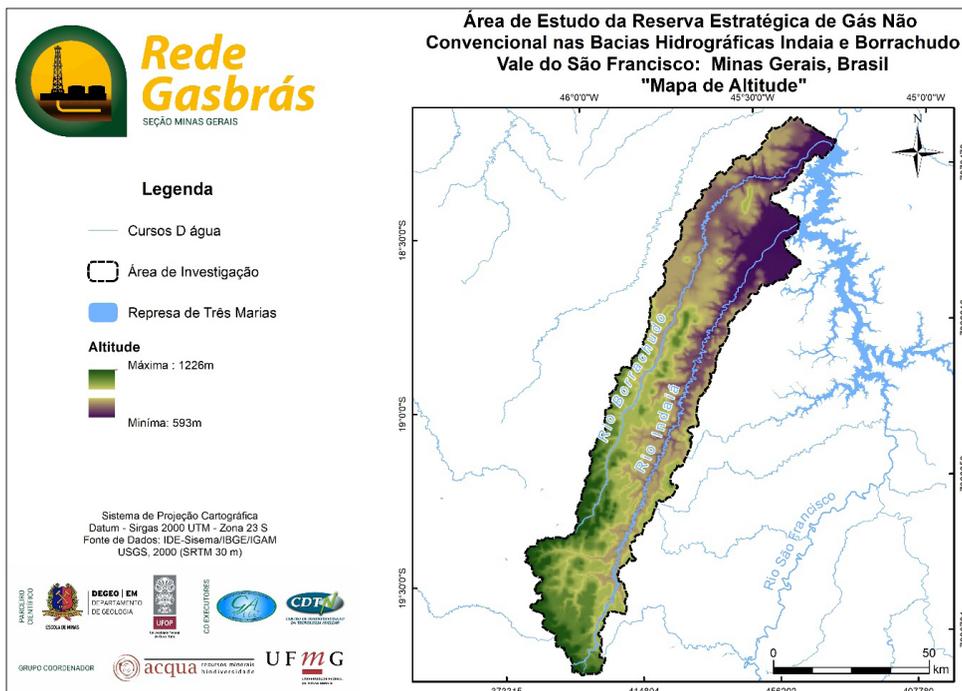


Figura 09 - Mapa com altitude da área de investigação

5.4 Clima

A região está inserida em clima tropical central. Segundo IBGE (2002), a área de investigação encontra-se a sul em uma zona quente-úmida com média de temperatura maior que 18°C em todos os meses e 3 meses secos (figura 10). Já a parte norte, próxima a represa de Três Marias, é uma zona quente-úmida com temperatura média maior que 18°C em todos os meses e de 4 a 5 meses secos. Portanto, dentro da área de investigação há dois tipos de clima, conforme observado na figura 10. Dados climatológicos com mais de 30 anos de monitoramento útil para área de investigação foram levantados em uma única estação, localizada nas proximidades sul da área de investigação. A seguir será descrito dados climatológicos para toda área de estudo com base neste histórico, mas vale lembrar que a climatologia apresentada estará mais consoante com a região climatológica sul da área de investigação, e que difere da área setentrional.

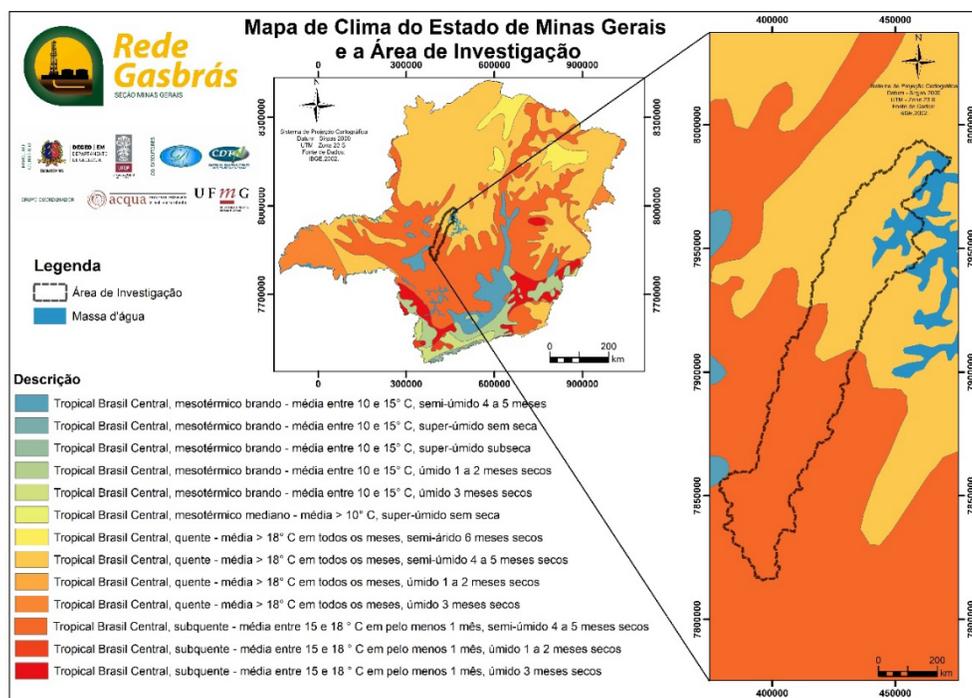


Figura 10 – Mapa de clima da área de investigação

Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) as temperaturas registradas na área são elevadas e as chuvas regulares. Os dados climáticos foram baseados na estação situada na cidade de Bambuí (estação A565) que fica nas proximidades da área de investigação ao sul (cerca de 30Km). Conforme já mencionado, sabe-se que há uma diferença climática entre a parte norte e a sul, possuindo esta última uma única estação próxima e com pelo menos uma série histórica de 30 anos. Ela foi então escolhida para

representar toda área investigada através de dois históricos climatológicos, um dos anos de 1961 até 1990 e outro de 1981 até 2010, o qual serão detalhados a seguir.

- O gráfico de pluviosidade (Figura 11) revela que as chuvas são intensas e concentradas em alguns meses do ano, sendo que a última serie climatológica revela uma média de 62,4mm para o mês de setembro, 113,7 mm para o mês de outubro, 177,5 mm para novembro, 306,8 mm para dezembro, 296,8 mm para janeiro, 195,3 mm para fevereiro, 155,4 mm para março e 71,1 mm para o mês de abril. Os outros meses possuem uma média abaixo de 50 mm e aproximando de 10 mm em junho e julho. Quanto ao comparativo entre precipitações dos períodos 1961-1990 e 1981-2010, percebe-se que o padrão se manteve, porém, a média de precipitação nos meses de janeiro a março subiu consideravelmente, perfazendo um aumento em até 20%.

Para uma análise apenas na região norte da área de investigação através de dados levantados nas duas últimas décadas, construiu-se um gráfico com as médias mensais de precipitação (Figura 11). Esta estação climatológica fica em Três Marias (A528) e não possui uma série histórica mínima de 30 anos. Através dos dados coletados nesta estação para representar a área norte, observa-se um padrão de precipitação similar com aquela obtida na estação usada para representar toda área, mas que fica na região sul, entretanto, o volume anual é menor, com chuvas que ocorrem principalmente entre os meses de novembro e março. Conclui-se, portanto, que o acúmulo médio de precipitação na região norte da área de estudo nas últimas décadas foi em torno de 1137mm, já ao sul esse volume chega a 1466mm. Ou seja, uma diferença maior que 22% de precipitação na área de investigação que esta consoante ao padrão climatológico do mapa da figura 10.

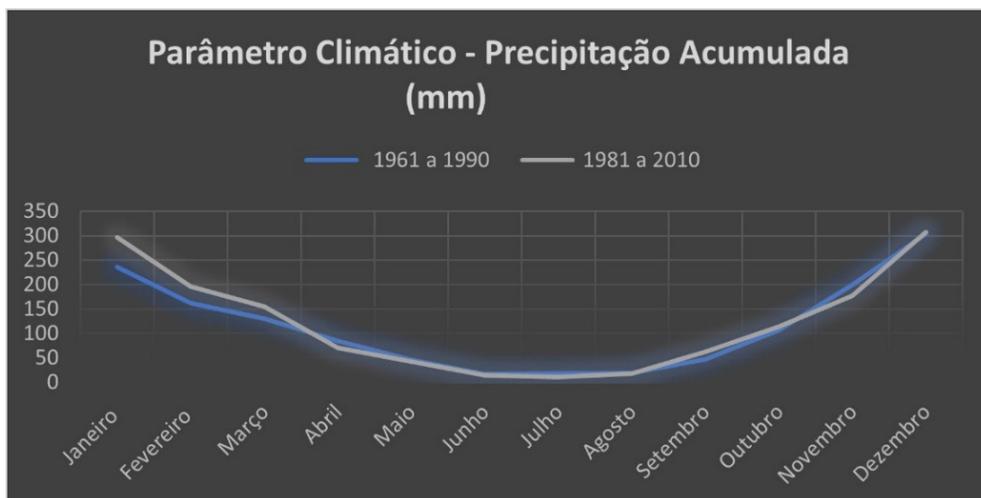


Figura 11– Histórico médio mensal de precipitação registrada. Estação A565 - Bambuí-MG.

Fonte: INMET 2020.

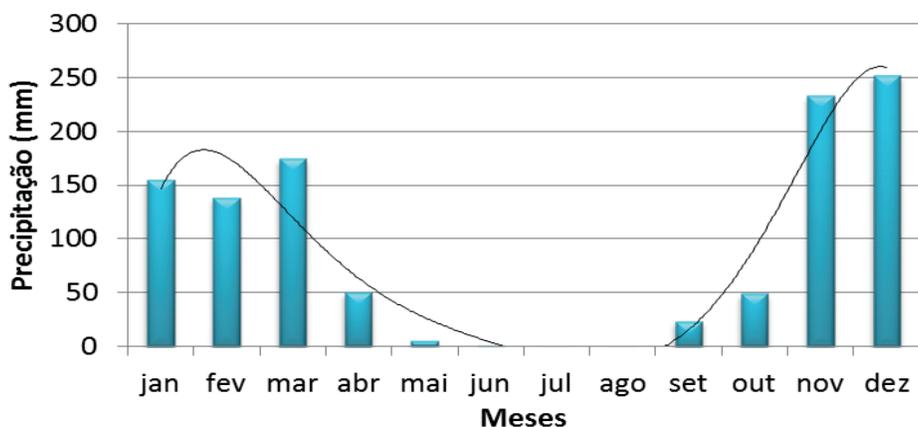


Figura 12 - Histórico médio mensal de precipitações com base nas duas últimas décadas (2007 a 2020) para representar a região setentrional da área de investigação (Estação de Três Marias-MG – A528).

Fonte: INMET 2020.

- Temperaturas médias também fazem parte das características climáticas da bacia (Figura 13). As maiores médias, se considerar a última série histórica, são registradas dos meses de setembro até abril, desde 20,7°C, em setembro, até e 23,6°C em janeiro. Os meses que registram as menores médias de temperaturas são junho e julho (ambos 16,4°C). Quanto ao comparativo entre temperaturas médias dos períodos 1961-1990 e 1981-2010, percebe-se que o padrão médio de temperatura se manteve, não oscilando as médias de temperaturas em valor de 1°C em nenhum mês.
- Quanto à evaporação total na região, considerando o último histórico de 30 anos, os valores são elevados no período entre julho e outubro, sendo que o mês de setembro registra em média 165,8 mm (Figura 14). Observa-se que quando se compara as duas series históricas, o período de 1981-2010 registra maior grau de evaporação se comparado ao período entre 1961-1981. Os níveis elevados de temperatura refletem o fator de evaporação total que compromete o déficit hídrico e a cobertura vegetal (perda de folhas). Esta perda faz com que as primeiras chuvas, em geral intensas, encontrem o solo desnudo, provocando retirada intensa de sedimentos bem observados nas águas dos rios Indaiá e Borrachudo entre os meses de setembro e março.

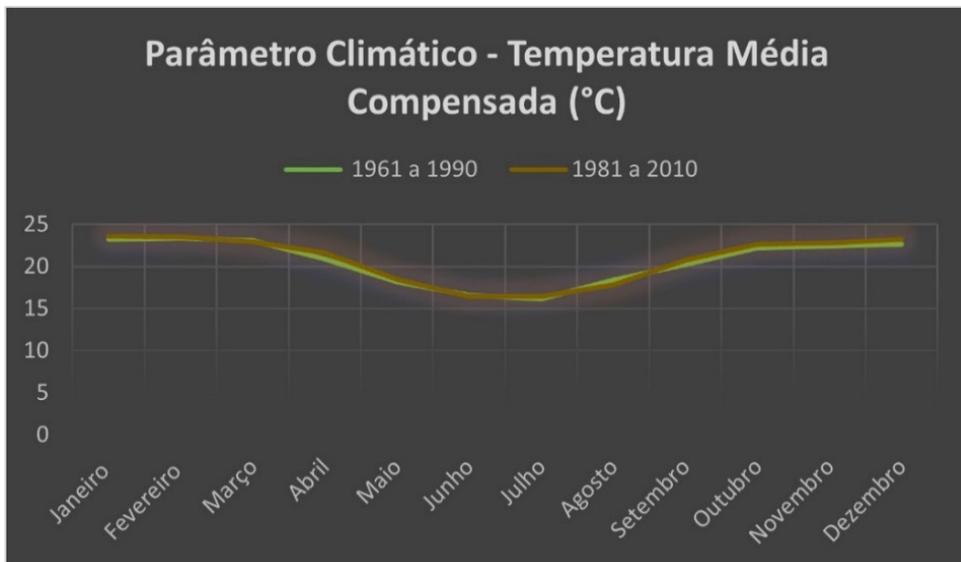


Figura 13 - Histórico médio da temperatura mensal. Estação A565- Bambuí-MG.

Fonte: INMET 2020

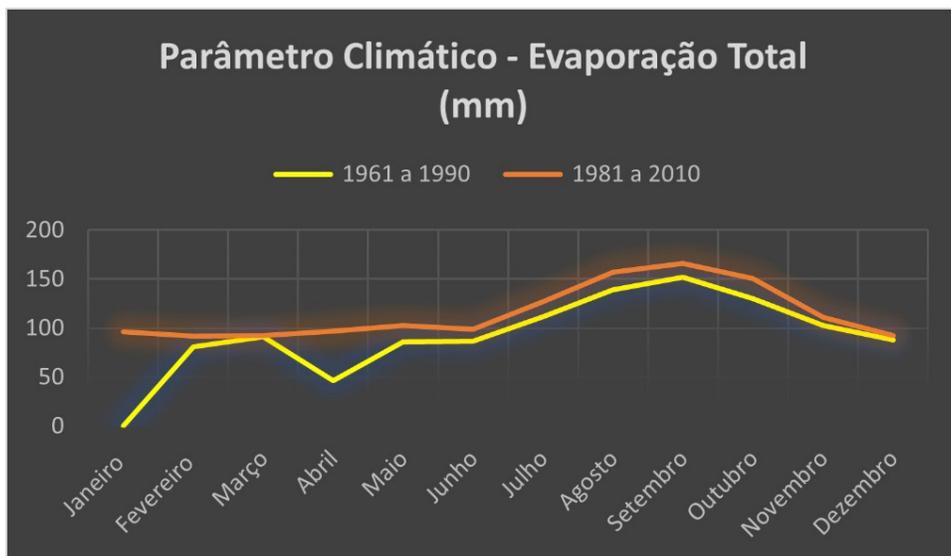


Figura 14 - Médias mensais da evaporação total. Estação A565- Bambuí-MG.

Fonte: INMET 2020.

5.5 Pedologia

O mapa pedológico para área investigada é apresentado na figura 15.

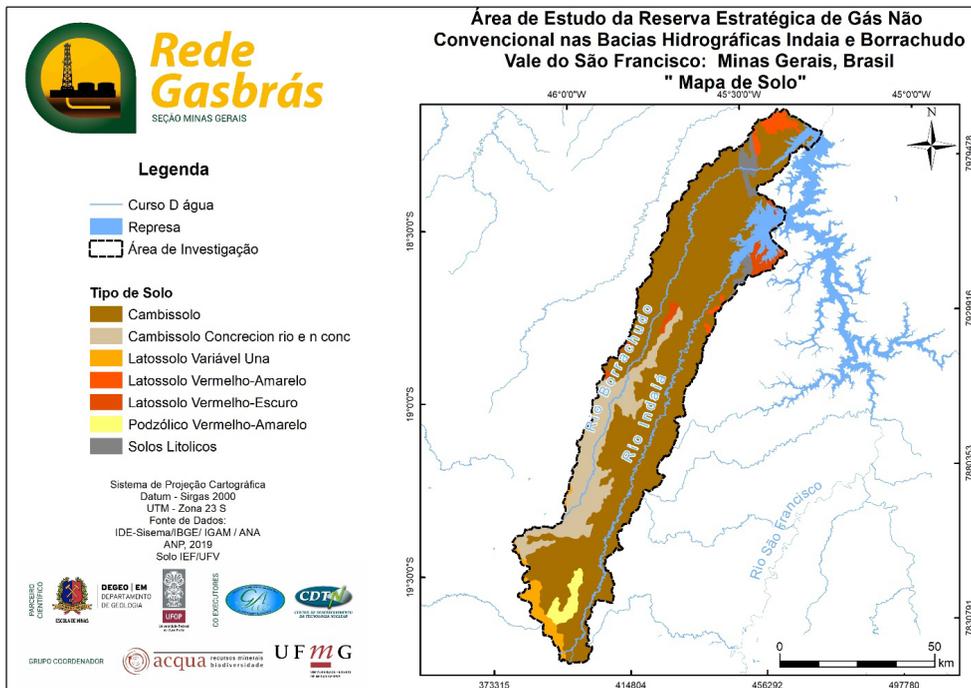


Figura 15 – Mapa Pedológico da área de investigação

Os tipos de solos preexistentes na área de investigação, de acordo com o mapa pedológico, são: Cambissolo, Latossolo, Podzólico e Solo Litólico. De acordo com a EMBRAPA (1999), as definições desses tipos de solos podem ser:

Cambissolo - compreendem solos com desenvolvimento incipiente, caracterizados pela pouca diferenciação dos horizontes nas características morfológicas, principalmente pela cor e estrutura. Solos constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial ou horizonte A chernozêmico, quando o B incipiente apresentar argila de atividade alta e saturação por bases alta;

Latossolo - são altamente intemperizados e sem incremento de argila em profundidade. As cores variam de brunadas, avermelhadas ou amareladas, sendo as últimas de maior expressão. A textura varia de média a muito argilosa e, nos mais oxídicos, pode ocorrer estrutura granular de tamanho muito pequena a pequena e de grau de desenvolvimento que varia de forte a muito forte. Os minerais predominantes na fração argila são caulinita e óxidos de ferro e alumínio. São solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura;

Podzólico - são solos minerais, não-hidromórficos (sem a presença de água), com horizonte A ou E (horizonte de perda de argila, ferro ou matéria orgânica, de coloração clara) seguido de horizonte B textural, com nítida diferença entre os horizontes. Apresentam

horizonte B de cor avermelhada até amarelada e teores de óxidos de ferro inferiores a 15%. Podem ser eutróficos, distróficos ou álicos. Têm profundidades variadas e ampla variabilidade de classes texturais;

Solo Litólico - são muito pouco desenvolvidos, rasos, não hidromórficos, apresentando horizonte A diretamente sobre a rocha ou horizonte C de pequena espessura. São normalmente pedregosos e/ou rochosos, moderadamente a excessivamente drenados com horizonte A pouco espesso, cascalhento, de textura predominantemente média, podendo também ocorrer solos de textura arenosa, siltosa ou argilosa. Podem ser distróficos ou eutróficos, ocorrendo geralmente em áreas de relevo suave ondulado a montanhoso. Apresentam poucas alternativas de uso por se tratar de solos rasos ou muito rasos e usualmente rochosos e pedregosos. Situa-se em áreas acidentadas de serras e encostas íngremes, normalmente com problemas de erosão laminar e em sulcos severa ou muito severa.

5.6 Hidrografia

As duas sub-bacias de investigação, Indaiá e Borrachudo, encontram-se dentro da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Esta bacia abrange uma área de 645.067km² que é cerca de 8% do território nacional e está inteiramente contida em território brasileiro. Ela abrange os Estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe. Baseado nas características fisiográficas, a bacia do São Francisco é compartimentada em quatro grandes áreas: O Alto (Nascente até Pirapora, Estado de Minas Gerais), Médio (Pirapora até o Lago de Sobradinho, em Remanso, Estado da Bahia), Submédio (Remanso até Paulo Afonso, Estado da Bahia) e Baixo São Francisco (Paulo Afonso até o Oceano Atlântico) (PATRUS et al. 2001 apud RIBEIRO 2010). O Alto São Francisco é onde se insere as sub-bacias Indaiá e Borrachudo, além das bacias do Rio das Velhas, Paraopeba, Pará, Abaeté, Jequitaiá e a represa de Três Marias (RIBEIRO 2010).

Os rios Indaiá e Borrachudo são cursos de águas afluentes da margem esquerda do rio São Francisco que desaguam diretamente no reservatório da Usina Hidrelétrica de Três Marias, cuja drenagem principal e seus afluentes perpassam por alguns municípios, como: Córrego Danta, Santa Rosa da Serra, Estrela do Indaiá, São Gotardo, Serra da Saudade, Quartel Geral, Tiros, Cedro do Abaeté, Paineiras, São Gonçalo do Abaeté, Biquinhas e Morada Nova de Minas.

Dentro do mapa hidrológico da área de estudo (figura 16) são ilustradas e apresentadas algumas das estações hidrológicas cadastradas no âmbito do projeto de pesquisa como: nascentes (N), poços tubulares (PT), poços escavados (PE), estações de qualidades de água (EQ), pluviométricas (EP) e fluviométricas (EF). Estes tipos de cadastros de pontos são de grande importância para realização de monitoramento contínuo das condições dos recursos hídricos e conseqüentemente gestão hídrica para a região. Através da Tabela 04 é possível verificar as condições evolutivas históricas de contaminantes, levantadas para as estações de qualidade (EQ) e que estão posicionadas no mapa da figura 16.

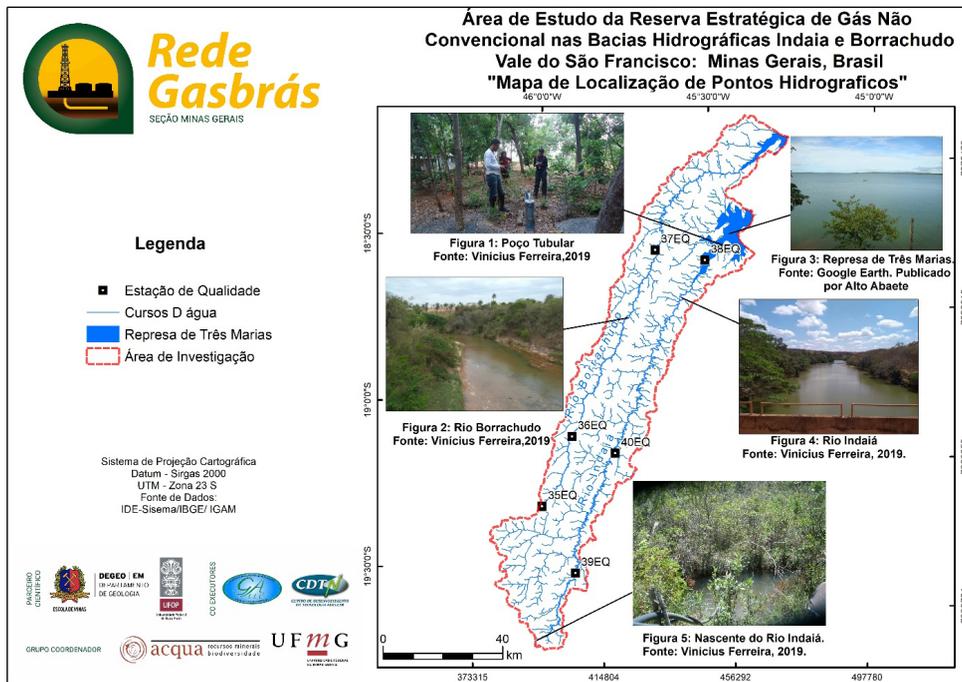


Figura 16 - Mapa com localização e ilustração de alguns tipos de pontos hidrológicos com destaques as estações de qualidade (EQ) dos rios Indaiá e Borrachudo na área de investigação

Tipo de Ponto	Estação	Rio	Município	Enquadramento	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
					Classe 2											
35EQ	SF050	Borrachudo	São Gotardo	Classe 2	B	B	B	B	M	B	B	B	A	B	B	
36EQ	SF052	Borrachudo	Tiros		B	B	M	B	B	M	B	M	B	B	B	B
37EQ	SF013	Borrachudo	Morada Nova de Minas		B	A	A	B	M	B	B	B	A	A	B	B
38EQ	SF011	Indaiá	Biquinhas		M	M	A	A	A	B	A	B	A	B	B	B
39EQ	SF046	Indaiá	Estrela do Indaiá e Santa Rosa da Serra		B	B	B	A	B	B	B	B	B	B	B	B
40EQ	SF048	Indaiá	Cedro do Abaeté, Quartel Geral e Tiros	B	M	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	

Tabela 04 – Caracterização evolutivas de contaminação das águas superficiais nos cursos principais de rios e o seu enquadramento de acordo com Quadro 1 na sequência.

Contaminação	Concentração em relação à classe de enquadramento
B - Baixa	Concentração $\leq 2,4$
M - Média	$2,4 < \text{concentração} \leq 4$
A - Alta	Concentração > 4
Referência: Portal Info Hidro - IGAM e COPAM/CERH n° 01/2008	

Quadro 01 - Referência para a tabela 04

Através das análises das águas de classe 2 colocadas na tabela 04 e verificadas no mapa da figura 16 observa-se que as estações ao menos 1 ano foi registrado um nível de contaminação classificada como Alta. Dentre as estações com maiores registros anuais de contaminação alta destacam-se as estações 38EQ e 37EQ que dos 11 anos monitorados, 5 e 4 anos, nesta ordem, mantiveram-se com contaminação classificada como alta. Já a estação que se manteve por maior período no índice de contaminação baixa, destaca-se a 40EQ. As prováveis fontes potenciais de contaminação destacam-se esgotos domésticos e industriais, garimpagem, agropecuária, pesticidas e a existência de reservas minerais de fosfatos e os verdetes que favorecem o background de minerais como cromo e potássio.

5.7 Uso e cobertura do solo

O levantamento de uso e cobertura do solo para a área de investigação ocorreu através dos dados disponibilizados na plataforma Mapbiomas³, referente ao período de 2019. De acordo com o mapa da figura 16 as classes quanto ao tipo do uso e cobertura do solo determinadas na área foram: formação florestal, formação savânica, floresta plantada, formação campestre, pastagem, cultura anual perene, infraestrutura, outra área não vegetada, mineração e rio/lago. Constatou-se que o domínio maior é de pastagem, 51% de representatividade areal dentro da área de investigação (Figura 17).

3 MAPBIOMAS. Disponível em: <<https://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>> Acesso em 05 de maio de 2020.

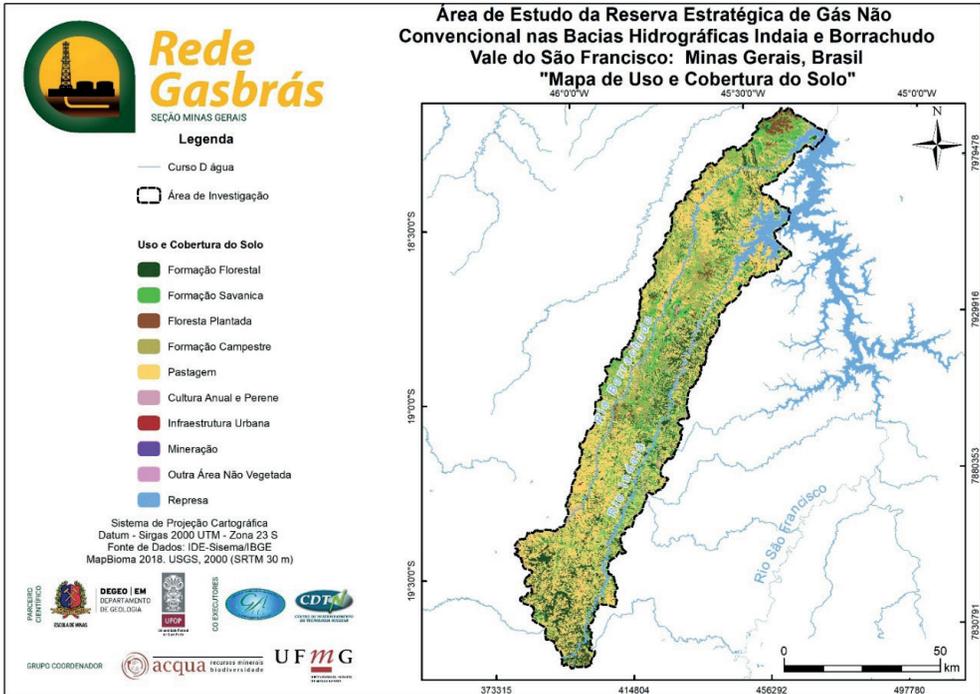


Figura 17 - Tipo de uso e cobertura de solo em percentual da área de investigação

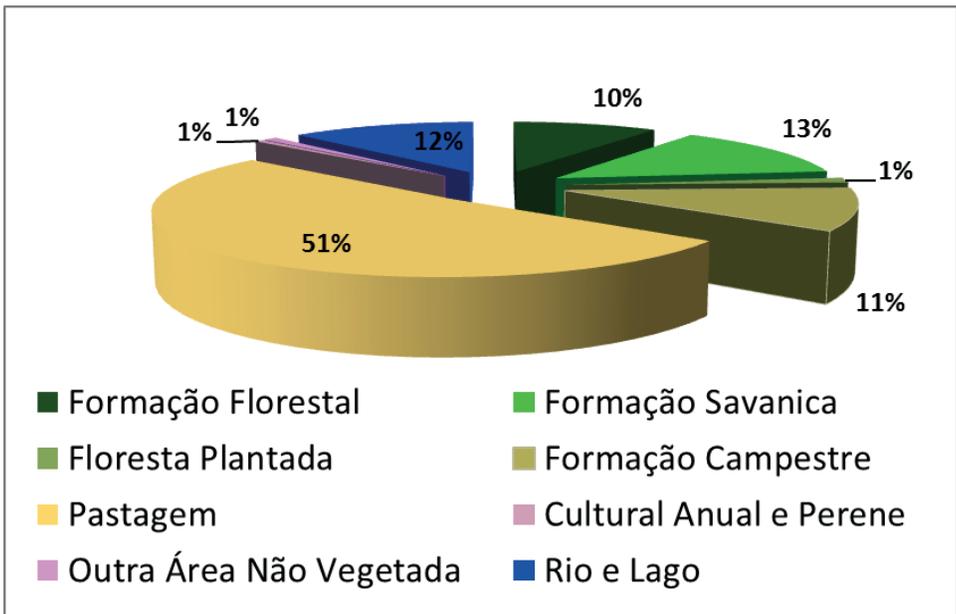


Figura 18 – Gráfico com informações de Uso e Cobertura do Solo em 2018 da Área de Investigação.

Há ainda uma grande representação de vegetação savânica com 13%, rio/lago com 12% (destacado em razão do represamento da Barragem em Três Marias), formação campestre com 10%, vegetação florestal com 10% e os demais somando 3%. Este último é contemplado por floresta plantada, cultura anual perene e outra área não vegetada.

Esse levantamento de uso e cobertura de solo é benéfico no monitoramento das áreas mais modificadas com o passar dos anos, uma vez que o Mapbiomas anualmente faz atualizações que são disponibilizados na plataforma. Portanto, esse tipo de abordagem se torna útil no gerenciamento e planejamento quanto ao aumento dos fragmentos naturais ou mesmo na redução dos impactos ambientais.

5.8 Biodiversidade

O conhecimento sobre a biodiversidade em uma área investigada é de grande importância, pois ela é responsável pelo equilíbrio ambiental local, regional e planetária. Diante disso, o levantamento preliminar na área de investigação quanto a fauna e flora é de relevância para o monitoramento e manutenção dos ecossistemas. As atividades antrópicas de maneira geral têm e podem impactar a biodiversidade, e diante disso, uma rede de pesquisa deve atender as necessidades de se realizar o levantamento de dados preliminares quanto à biodiversidade.

O mapa da figura 19 representa o bioma no contexto da área de investigação que nesse caso é o bioma cerrado, considerado como a savana tropical mais rica do mundo, contendo cerca de 5% de toda a diversidade do planeta, abrigando 30% dos diversos seres vivos identificados no Brasil e tornando assim um importante bioma para a bacia do São Francisco bem como para todo Brasil.

Durante os levantamentos, a pesquisa detectou próximo à área de investigação uma importante área de proteção integral, a “Estação Ecológica de Pirapitinga”, que tem como objetivo a preservação da natureza e a realização de pesquisas científicas. Uma área de proteção ambiental como essa torna-se de grande importância e amplitude quanto a percepção ambiental ao se tratar da biodiversidade perante empreendimentos industriais, presentes e futuros.

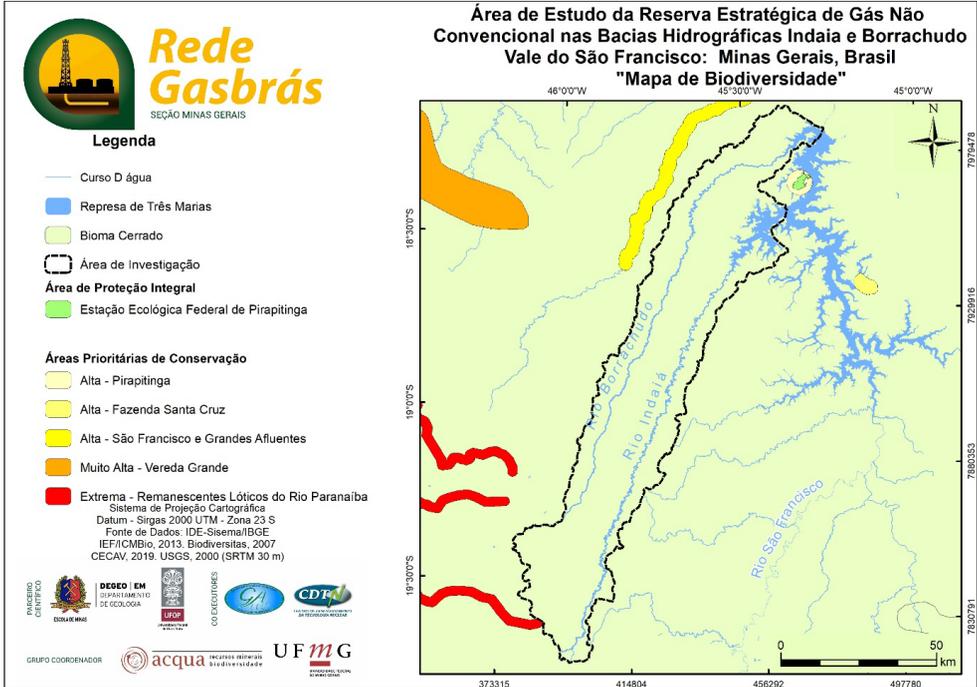


Figura 19 – Mapa de Biodiversidade da área de investigação

6I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreender as características fisiográficas da área de investigação, localizada na bacia dos rios Indaiá e Borrachudo, é a primeira etapa para o entendimento e classificação ambiental, visto se tratar de uma área com características peculiares que abriga um ambiente propício para possível exploração/extração de hidrocarbonetos não convencionais. Diante disso, a caracterização fisiográfica se justifica como etapa preliminar a qualquer instalação e implantação dos mais diversos setores industriais, incluindo a do gás natural, além disso, pode ser usada como ferramenta básica ou de sustentação para a confecção de um Estudo de Impacto Ambiental e/ou Relatório de Impacto Ambiental - EIA/RIMA.

A análise morfométrica realizada e avaliada sugere que se tratam de bacias que não estão propícias a riscos de enchentes, o que pode evitar impactos ambientais inerentes e correlacionados pelas atividades antrópicas. Na geologia, as unidades geológicas predominantes são um conjunto de rochas pelito-carbonáticas e ao topo siliciclasticas do Grupo Bambuí o que justifica sedimentos muito finos, principalmente de granulometria argila, siltes e areia muito fina, que são carregados para os rios e quando em superfícies geram muita poeira ou lama. Através da geomorfologia apresentada, identifica-se áreas com menor ou maior susceptibilidade de ocorrência de erosão, além de influenciar na velocidade de escoamento superficial da água.

O clima da região é caracterizado como clima tropical central que considera uma zona quente-úmida com média de temperatura maior que 18°C, sendo a região sul beneficiada por maiores volumes pluviométricos quando comparados a região norte. A pedologia da região é caracterizada pelos solos dos tipos Cambissolo e Latossolo principalmente, sendo que são considerados bons para agricultura à medida que sobe a topografia ou no sentido sudoeste da área investigada. As bacias dos rios Indaiá e Borrachudo estão representados por afluentes da margem esquerda do rio São Francisco, e desaguam diretamente no reservatório da Usina Hidrelétrica de Três Marias. Quanto ao uso e cobertura de solo abordado, trata-se de uma região com muitas áreas naturais, compostas por formações campestres, porém certos setores são suscetíveis as atividades agropecuárias e de silvicultura. De acordo o aspecto sobre biodiversidade, próximo à área, verificou-se que há instalado a “Estação Ecológica de Pirapitinga”. O trabalho destaca que o tema biodiversidade em uma bacia faz se necessário através do levantamento e monitoramento de espécies de fauna e flora, em especial aquelas em extinção ou imune a cortes, neste caso a flora.

Assim, as informações prestadas refletem em grande parte o estado atual tanto das bacias do rio Indaiá e Borrachudo como dos municípios que representam. Este diagnóstico geral torna-se útil para as comunidades locais bem como serve de ferramenta de auxílio aos gestores públicos estaduais e federais sobre questões ambientais e, principalmente, quanto a possível retomada de pesquisa ou extração de uma indústria de hidrocarbonetos não convencionais na região.

Registra-se que outros estudos de caracterização do meio ambiente da área pesquisada, como a caracterização hidrológica, hidrogeológicas e da qualidade das águas, serão abordadas em publicações específicas.

REFERÊNCIAS

- BC OIL & GAS COMMISSION - About Unconventional Gas. Disponível em: http://www.ogc.gov.bc.ca/documents/publications/Fact%20Sheets/3_About%20Unconventional%20Gas.pdf. Acessado em abril de 2010.
- BRANCO J.J.R. & COSTA M.T. 1961. Roteiro da excursão Belo Horizonte – Brasília. In: Cong. Bras. de Geol., 14, Belo Horizonte, Publicação Instituto de Pesquisa Radioativas/UFMG, 5, p.1-25.
- BRASIL. Portaria nº 444, de 10 de janeiro de 2002. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 2014, n. 245, p. 1-126, 18 dez. 2014.
- COSTA, R. D., SILVA, R. R., KNAUER, L. G., PREZOTTI, F. P. S., PAULA, F. L., DUARTE, F. T., TEIXEIRA, L. F. 2011. Relatório do mapeamento Geológico da Folha Três Marias na escala de 1:100.000. Projeto Alto Paranaíba. Contrato CODEMIG-UFMG 2008, Cap XIV p. 789-858.
- DAVIS, Pete *et al.* Shale Gas Study. Amec Foster Wheeler Environment & Infrastructure UK Limited. 2015.
- DIAS, P. H. A., CHAVES, M. L. S. C., ANDRADE, K. W., NOCE, C. M. 2011. Relatório do mapeamento Geológico da Folha São Gotardo na escala de 1:100.000. Projeto Alto Paranaíba. Contrato CODEMIG-UFMG 2008, Cap XI p. 622-667.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/93143/1/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf> > Acesso em: 28 de abr de 2020.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Bioma Cerrado. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/cerrados/colecao-entomologica/bioma-cerrado> > Acesso em 05 de maio de 2020.
- EPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY), 2012. Plan to Study the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources. EPA/600/R-11/122. Washington D.C, EPA, 174 p.
- FOSTER, S. (1987) Fundamental concept in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. Proc. Intl. Conf. Vulnerability of soil and groundwater to pollution Noordwijk, The Netherlands, April.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, Clima 2002 – 1:5 000 000, Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/15817-clima.html?=&t=down%20loads> > Acesso em outubro 2020.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - ICMBio, Plano de Manejo – Estação Ecológica de Pirapitinga- disponível em : < https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-planos-de-manejo/esec_pirapitinga_pm.pdf > Acesso em 03 de dezembro de 2019.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - ICMBio, disponível em : <<http://www.icmbio.gov.br/cbc/conservacao-da-biodiversidade/especies-ameacadascerrado.html>> Acesso em 05 de dezembro de 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. Estações Automáticas. Três Marias. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas> > Acesso em 04 de abril de 2020.

MAPBIOMAS. Disponível em: <<https://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage> > Acesso em 05 de maio de 2020.

MENDES, L. S., MENDES, N. G., MORAES, M. B, DURANT, P. C., CARVALHO, H. P.. Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica experimental do córrego fundo. IBEAS – Instituto Brasileiro de 4 Estudos Ambientais. VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Campo Grande/MS. P1-5, 2017.

MENEZES-FILHO M.R., MATTOS G.M.M., FERRARI P.G. 1977. Projeto Três Marias: Relatório final, vol 6. DNPM/CPRM Serviço Geológico do Brasil, Brasília.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Convenção da Diversidade Biológica. Biodiversidade v. 2. Brasília: MMA, 2000. 30p. MMA. Lista das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção. Instrução Normativa nº 3. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/sbf/fauna/index.cfm> >. Acesso em: 18 de dezembro de 2005.

PAZ, A. R.. HIDROLOGIA APLICADA, Disciplina Ministrada na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, para o curso de graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia na unidade de Caxias do Sul. 2004. Disponível em : < http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/apostila_HIDROLOGIA_APLICADA_UERGS.pdf>. Acesso em 15 de dezembro 2020.

PRADO, R. B., NOVO, E. L. M., FERREIRA, C. G.. Mapeamento e caracterização dos fatores fisiográficos da bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de barra bonita – sp1. CAMINHOS DE GEOGRAFIA - revista on line. Instituto de Geografia do Programa de Pós-graduação da Universidade Federal de Uberlândia. Disponível do link <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>. v. 11, n. 36, p. 237 – 257, 2010.

REIS, H. L. S, A. 2011. Estratigrafia e Tectônica da Bacia do São Francisco na Zona de Emanações de Gás Natural do Baixo Rio Indaiá (MG). Tese (Mestrado em Ciências Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, p. 73.

REIS, H. L. S. Gás natural. In: Pedrosa-Soares, A. C.; Voll, E.; Cunha, E. C. (Eds.). Recursos Minerais de Minas Gerais. Belo Horizonte: Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMGE), 2018. p. 1–39.

RIBEIRO, E. V. 2010. Avaliação da qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora – MG: metais pesados e atividades antropogênicas. Departamento de Geografia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

SAADI, A. Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais: Tese de Livre-docente. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, 285 p. 1991.

SIGNORELLI, N., TULLER, M. P., SILVA, P. C. S., JUSTO, L. J. E. C. 2003. Mapa Geológico da Folha Três Marias. Brasília, CPRM, escala 1:250.000.

THOMAZ, J. E. Fundamentos de Engenharia De Petroleo,4ed. [S1]: INTERCIENCIA, 2004. Disponível em < http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Julio_Cesar_Pinguelli_Jacomo.pdf > Acesso em 15 de dezembro de 2020.

WINGE, M. et. al. 2001 - 2021 Glossário Geológico Ilustrado. Disponível na Internet em 14 de abril de 2021 no site <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>

SOBRE OS AUTORES



VINÍCIUS GONÇALVES FERREIRA - Possui graduação em Geologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (2014), Mestre em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais com ênfase em Tecnologia Mineral e Meio Ambiente pelo Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). Ampla experiência em análises hidroquímicas e isotópicas, incluindo datações, sobre amostras de águas e gases. Experiência em processos viáveis de meios adsorvivos e de flotação para o tratamento de efluentes líquidos gerados na produção do grafeno em planta piloto. Atua na área de geologia ambiental com foco em recursos hídricos (avaliação e monitoramento hidrogeológico, hidroquímico e isotópico). Realiza trabalhos de mapeamentos geológicos e hidrogeológicos. Atua em trabalhos voltados a consultorias em geologia ambiental, hidrogeoquímica e responsabilidades técnicas associadas.



JUSSARA DA SILVA DINIZ LIMA - Possui graduação em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário Newton Paiva (2019) e Técnica de Mineração pela Escola Técnica de Formação Profissional - META (2011). Atuou como Engenheira Ambiental no Projeto Gasbras constituído por uma rede P&D a nível nacional, amparado financeiramente pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projeto), projeto gerenciado financeira e administrada pela FUSP (Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo). As atividades realizadas no INCT Acqua/Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).



JOYCE CASTRO DE MENEZES DUARTE - Mestre em Ciência e Tecnologia das Radiações Minerais e Materiais pelo Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) e graduada em Química Tecnológica pelo CEFET-MG. Atuou como Pesquisadora Química junto ao Projeto GASBRAS de 2020 a 2021 colaborando com pesquisas no âmbito geológico, e de Materiais Radioativos de Ocorrência Natural (NORM). Bolsista de pesquisa CNPQ no Laboratório de Trítio Ambiental do CDTN de 2017 a 2019. Experiência com processos laboratoriais em amostras de água e rocha, análises instrumentais como GCMS e Espectrometria por Cintilação Líquida e vivência com Gestão da Qualidade ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017.



GUSTAVO FILEMON COSTA LIMA - Graduado em Geologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (2016) com período sanduíche na University of South Wales (2014), Técnico em Mineração pela Escola Politécnica de Belo Horizonte (2018), mestre em Geologia Econômica e Aplicada pela Universidade Federal de Minas Gerais (2020) e Doutorando em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear. Possui experiência nas áreas de Geologia e Geoquímica Ambiental, técnicas laboratoriais aplicadas a amostras geológicas, Mapeamento Geológico, Geoprocessamento, Hidrologia, Hidrogeologia e Hidrocarbonetos não convencionais. Atualmente trabalha como Coordenador de Laboratórios do Departamento de Engenharia de Transportes no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG).

Caracterização Fisiográfica das Bacias Hidrográficas dos rios Indaiá e Borrachudo como Etapa Pré-operacional para a Indústria de Hidrocarbonetos Não Convencionais



-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena
Editora
Ano 2021



Rede Gasbrás
SEÇÃO MINAS GERAIS

COLABORAÇÃO
CIENTÍFICA



DEGEO | EM
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA



CO EXECUTORES



CDTN
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO
DA TECNOLOGIA NUCLEAR

GRUPO
COORDENADOR



acqua recursos minerais
bio-diversidade

UFMG
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS

Caracterização Fisiográfica das Bacias Hidrográficas dos rios Indaiá e Borrachudo como Etapa Pré-operacional para a Indústria de Hidrocarbonetos Não Convencionais



- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 @atenaeditora
- 📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena
Editora
Ano 2021



Rede Gasbrás
SEÇÃO MINAS GERAIS

COLABORAÇÃO
CIENTÍFICA



DEGEO | EM
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA



CO EXECUTORES



CDT
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO
EM TECNOLOGIA NOUS DAR

GRUPO
COORDENADOR



acqua recursos minerais
biodiversidade

UFMG
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS