



**CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC  
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*  
MESTRADO PROFISSIONAL EM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS RELACIONADOS AO USO DA ÁGUA  
NO EMPREGO DO MÉTODO DE FRATURAMENTO HIDRÁULICO  
PARA EXPLORAÇÃO DE *SHALE GAS* NA REGIÃO DO AQUÍFERO  
SÃO SEBASTIÃO (BA)**

Salvador  
2021

## ADSON DE SANTANA GOMES

Avaliação dos impactos relacionados ao uso da água no emprego do método de fraturamento hidráulico para exploração de *shale gas* na região do aquífero São Sebastião (BA)

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação *Stricto Sensu* do Centro Universitário SENAI CIMATEC como requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Sustentável do Centro Universitário SENAI CIMATEC.

Orientador: Prof. Dr Jailson B. de Andrade

Co-orientador: Prof. Dr Jeancarlo P. dos Anjos

Salvador – BA

2021

G633a Gomes, Adson de Santana

Avaliação dos impactos relacionados ao uso da água no emprego do método de fraturamento hidráulico para exploração de shale gas na região do aquífero São Sebastião (BA) / Adson de Santana Gomes. – Salvador, 2021.

94 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Jailson Bittencourt de Andrade.

Dissertação (Mestrado Profissional em Desenvolvimento sustentável) – Programa de Pós-Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2021.

Inclui referências.

1. Gás de folhelho. 2. Shale gas. 3. Fraturamento hidráulico. 4. Água subterrânea. 5. Aquífero São Sebastião. 6. Recôncavo Baiano. I. Centro Universitário SENAI CIMATEC. II. Andrade, Jailson Bittencourt de. III. Título.

CDD 333.7

## CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

### Mestrado Profissional em Desenvolvimento Sustentável

A Banca Examinadora, constituída pelos professores abaixo listados, aprova a Defesa de Mestrado, intitulada “**Avaliação dos impactos relacionados ao uso da água no emprego do método de fraturamento hidráulico para exploração de shale gas na região do aquífero São Sebastião (BA)**” apresentada no dia 20 de dezembro de 2021, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Sustentável.

Orientador:

DocuSigned by:  
*Jailson Bittencourt de Andrade*  
D71AB43E8B3E41B  
**Prof. Dr. Jailson Bittencourt de Andrade**  
SENAI CIMATEC

Coorientador:

DocuSigned by:  
*Jean Carlo Pereira dos Anjos*  
2FCE3A386F11407  
**Prof. Dr. Jeancarlo Pereira, dos Anjos**  
SENAI CIMATEC

Membro Interno:

DocuSigned by:  
*Pedro Afonso Pereira*  
A6RCAED7CE4E48D  
**Prof. Dr. Pedro Afonso Pereira**  
SENAI CIMATEC

Membro Externo:

DocuSigned by:  
*Milton José Porsani*  
25C738555F140D  
**Prof. Dr. Milton José Porsani**  
UFBA

*Dedico este trabalho a Deus, que me deu forças para concluir este projeto de forma satisfatória, à minha mãe, que nunca mediu esforços para formação de seus filhos e aos meus familiares, que com muito carinho e dedicação, me apoiaram na conclusão desta etapa da minha vida.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à proteção divina que permeia os meus caminhos, mesmo que na maioria das vezes eu não consiga compreender o caminho a trilhar, tampouco o local de chegada, mesmo assim, tenho a certeza de que será a melhor trajetória a seguir.

À minha mãe, Dona Aldenora, que nos anos da década de 1990 ouviu o pedido do filho para seguir o caminho dos estudos fora da nossa cidade no interior e eis aqui seu engenheiro caminhando no mestrado.

Aos meus familiares que sempre se apoiam mutuamente, com fim de alcançar o aperfeiçoamento intelectual proporcionado pelos estudos.

Aos amigos e colegas da vida pessoal e profissional pelo incentivo e palavras de acalento nos momentos de angústia e incerteza.

Aos meus orientadores pela paciência e auxílio na clareza do desenrolar desta obra.

E, como todo fim é um recomeço, termino agradecendo ao meu santo de devoção, São Francisco de Assis que me inspira por meio de suas palavras registradas em oração: “...*Senhor fazei que procure mais, compreender que ser compreendido. Amar que ser amado e perdoar para ser perdoado.*”.

Obrigado a todos!

*“As pessoas enfrentam, todos os dias, problemas que você nem imagina; por isto, seja sempre gentil”*

*Autor Desconhecido*

## RESUMO

A viabilidade tecnológica atual em exploração de grandes reservas não-convencionais de gás, pelo mundo, despertou imenso interesse, especialmente na última década, proporcionando mudanças no cenário energético mundial. O objetivo deste estudo foi avaliar os impactos ambientais e econômicos relacionados ao uso da água no emprego do método de fraturamento hidráulico para a potencial exploração de *shale gas* na região do aquífero São Sebastião, na Bacia do Recôncavo Baiano (Bahia, Brasil). Para isso, foi realizada uma revisão integrativa de documentos, focados na utilização de sumarização e traçado do perfil das principais publicações atuais acerca da temática envolvida. Foi possível a obtenção de dados acerca da operação pelo uso do método de fraturamento hidráulico e sua possível influência ao aquífero; além dos impactos na cadeia de fornecimento, aquisição, logística, utilização e manuseio de componentes químicos como fluidos de fraturamento; os impactos ambientais e econômicos derivados da exploração do gás de folhelho; o processo de tratamento e destinação dos fluidos oriundos do aquífero no processo de fraturamento hidráulico para extração de *shale gas*. Conclui-se que a recuperação de hidrocarbonetos localizados em áreas de baixa permeabilidade demanda de uso de técnicas que envolvem produtos químicos que podem migrar para o aquífero durante o seu manuseio, perfuração de poços, fraturamento, tratamento da água ou até durante a carga e transporte. E, com isto, há necessidade de discussão e formalização de parâmetros de aferição e controle pelos órgãos competentes.

**Palavras-chave:** Gás de folhelho; *Shale gas*; Fraturamento Hidráulico; Água Subterrânea; Aquífero São Sebastião; Recôncavo Baiano

## ABSTRACT

The current technological feasibility in exploring large unconventional gas reserves around the world has aroused immense interest, especially in the last decade, providing changes in the world energy scenario. The aim of this study was to evaluate the environmental and economic impacts related to the use of water in the hydraulic fracturing method for the potential exploration of shale gas in the São Sebastião aquifer region, in the Recôncavo Baiano Basin (Bahia, Brazil). For this, an integrative review of documents was carried out, focused on the use of summarization and tracing of the profile of the main current publications on the subject involved. It was possible to obtain data about the operation using the hydraulic fracturing method and its possible influence on the aquifer; in addition to impacts on the supply chain, procurement, logistics, use and handling of chemical components such as fracturing fluids; the environmental and economic impacts arising from the exploitation of shale gas; the process of treatment and disposal of fluids from the aquifer in the hydraulic fracturing process for shale gas extraction. It is concluded that the recovery of hydrocarbons located in areas of low permeability requires the use of techniques that involve chemicals that can migrate to the aquifer during handling, well drilling, fracturing, water treatment or even during loading and transport. And, with this, there is a need for discussion and formalization of measurement and control parameters by organs competent bodies.

**Keywords:** Shale gas; Hydraulic Fracture; Underground water; São Sebastião Aquifer; Recôncavo Baiano

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Surgimento de substâncias derivadas da decomposição de matéria orgânica, em função da profundidade e temperatura.....	21
<b>Quadro 2:</b> Evolução da produção de gás não-convencional nos EUA.....	24
<b>Quadro 3:</b> Síntese dos Índices de uso de água subterrânea nos EUA por atividade .....	58
<b>Quadro 4</b> – Número de artigos, incluídos neste estudo, provenientes da base de dados Science Direct Web .....	62
<b>Quadro 5</b> - Número de artigos, incluídos neste estudo, provenientes da base de dados Science Direct Web.....	63
<b>Quadro 6:</b> Síntese dos possíveis impactos inerentes ao fraturamento hidráulico ao meio físico .....	68

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Principais aquíferos da Bacia do Recôncavo Baiano.....	37
<b>Tabela 2:</b> Aditivos utilizados no processo de perfuração e fraturamento para extração de <i>shale gas</i> .....	50
<b>Tabela 3:</b> Poços operados com uso de Fraturamento .....	56
<b>Tabela 4:</b> Profundidades de aquíferos e folhelhos em bacias Norte Americanas.....	58
<b>Tabela 5:</b> Poços em aquíferos do Recôncavo Norte Baiano por produtividade.....	70
<b>Tabela 6:</b> Relação da pluviosidade com a recuperação hídrica na Região Recôncavo Norte Baiano por produtividade.....	71
<b>Tabela 7:</b> Relação de gasto de água dos aquíferos do Recôncavo Norte Baiano por área de consumo.....	71
<b>Tabela 8:</b> Fornecedores de produtos químicos na região do Recôncavo Norte da Bahia e outras regiões do Brasil.....	75
<b>Tabela 9:</b> Fornecedores de produtos químicos na região do Recôncavo Norte da Bahia e outras regiões do Brasil (continuação) .....	76

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Interrelação dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS 6, 7, 9, 12 e 13).....	17
<b>Figura 2:</b> Rochas com características de formação de folhelhos .....	22
<b>Figura 3:</b> Estimativas de reservas mundiais de gás não-convencional (em trilhões de m <sup>3</sup> ).....	24
<b>Figura 4:</b> Regiões de potenciais reservatórios para exploração de shale gas versus maiores aquíferos, no Brasil.....	26
<b>Figura 5:</b> Projeção da oferta potencial de gás natural não-convencional, para o Brasil .....	27
<b>Figura 6:</b> Esquemático da Geologia da Bacia do Recôncavo Norte.....	28
<b>Figura 7:</b> Estratigrafia da Região do Recôncavo Norte Baiano, mostrando as diferentes formações rochosas, ao longo dos períodos das Eras Geológicas .....	29
<b>Figura 8:</b> Características geológicas da Região do Recôncavo Norte Baiano .....	30
<b>Figura 9:</b> Distribuição de poços na Bacia do Recôncavo (1.215 poços.....	31
<b>Figura 10:</b> Distribuição de poços na região de Buracica – Alagoinhas/Bahia* .....	32
<b>Figura 11:</b> Distribuição de poços na região de Miranga – Pojuca/Bahia* .....	32
<b>Figura 12:</b> Ciclo da água .....	33
<b>Figura 13:</b> Esquema mostrando a exploração de águas subterrâneas .....	34
<b>Figura 14:</b> Mapa situacional dos aquíferos no Recôncavo Norte Baiano .....	35
<b>Figura 15:</b> Índices pluviométricos anuais - Estação Meteorológica 83249 - Alagoinhas/BA.....	39
<b>Figura 16:</b> Índices pluviométricos anuais - Estação Meteorológica 83229 – Ondina - Salvador/BA .....	39
<b>Figura 17:</b> Média de índices pluviométricos anuais – Linhas de Isoietas do Recôncavo Norte/BA.....	40
<b>Figura 18:</b> Comportamento de aquíferos nos EUA antes e durante exploração de <i>shale gas</i> .....	42
<b>Figura 19:</b> Esquema do processo de faturamento hidráulico, para exploração do shale gas, com destaque para o preenchimento por propantes nas fissuras .....	46
<b>Figura 20:</b> Esquema do processo de circulação superficial do fluido de faturamento .....	55

<b>Figura 21:</b> Alcance das fraturas realizadas formação de Barnett nos Estados Unidos .....	57
<b>Figura 22:</b> Alcance das fraturas realizadas formação de Marcellus nos Estados Unidos .....	57
<b>Figura 23:</b> Localização da Bacia Atlântico Leste e síntese dos índices de uso de água na região .....	59
<b>Figura 24:</b> Mapas da Infraestrutura de gasodutos de transporte no Brasil, destaque Recôncavo .....	69
<b>Figura 25:</b> Mapas de concentração da Indústria Química e localização dos principais pólos petroquímicos, no Brasil .....	74

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	15
1.1.	OBJETIVOS .....	18
1.1.1.	Geral.....	18
1.1.2.	Específicos .....	19
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA.....	20
2.1.	O <i>Shale Gas</i> – Conceito .....	20
2.2.	O <i>Shale Gas</i> – Cenário Mundial .....	23
2.3.	O <i>Shale Gas</i> – Cenário Nacional.....	25
2.4.	Geologia da Bacia do Recôncavo Baiano Norte.....	27
2.5.	Hidrogeologia dos Aquíferos Regionais .....	32
2.6.	Precipitação Pluviométrica na Bacia do Recôncavo Norte.....	38
2.7.	A demanda por água no manejo processual do <i>shale gas</i> frente aos desafios da sustentabilidade .....	42
2.8.	Método do <i>fracking</i> ou fraturamento hidráulico para exploração de <i>shale gas</i> .....	45
2.9.	Aditivos para fluidos .....	47
2.10.	A legislação vinculada à água subterrânea .....	51
2.11.	Água produzida no processo de fraturamento hidráulico .....	53
2.12.	Relação estratigráfica entre aquífero e as fraturas causadas pelo uso do método do <i>fracking</i> .....	55
2.13.	Impactos aos Aquíferos.....	58
3.	METODOLOGIA.....	60
4.	RESULTADOS .....	64
4.1.	Impactos Econômicos .....	64
4.2.	Impactos Ambientais .....	65
4.3.	Água Produzida.....	72
4.4.	Disponibilidade e logística de distribuição dos aditivos químicos .....	73
5.	CONCLUSÃO.....	78
	REFERÊNCIAS.....	79

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a segurança ambiental durante as atividades de extração de petróleo e gás vem se tornando cada vez mais evidente, mundialmente, com a fiscalização dos órgãos governamentais e a conscientização por parte das empresas, fazendo com que as mesmas invistam em tecnologia e na implementação de processos seguros para resgates de hidrocarbonetos em ambientes ainda não explorados no Brasil, como é o caso dos folhelhos.

Neste contexto, a Administração de Informações sobre Energia dos Estados Unidos (EIA) atualiza, anualmente, as perspectivas de metas para uso de combustíveis com baixa emissão de CO<sub>2</sub>. Estas perspectivas variam de acordo com a região de exploração e da técnica utilizada (Guo *et al.*, 2016).

A viabilidade tecnológica atual, em exploração de grandes reservas não-convencionais de gás pelo mundo, despertou imenso interesse e proporcionou mudanças no cenário energético mundial, uma vez que, este requisita, com urgência, da utilização de fontes de energia menos poluentes (Ali & Kumar, 2016). A Organização da Nações Unidas (ONU, 2018) destaca que mais da metade das reservas mundiais deste gás encontram-se na Argélia, Argentina, Canadá, China e Estados Unidos da América (EUA).

Os países desenvolvem diferentes políticas de energia com base em suas circunstâncias domésticas, como diversos recursos naturais, geografias e sistemas socioeconômicos (Lowe *et al.*, 2020). Ressalta-se que, antes, países como os EUA, meros importadores dessa fonte de energia, agora despontam como nações exportadoras ou autossuficientes. Nas últimas décadas, este país vem se destacando na exploração e produção de gás de folhelho (ou *shale gas*), acendendo expectativas de um novo panorama energético norte-americano e mundial (EIA, 2015).

Vale destacar, ainda, que aquele país respondeu sozinho por 87% de toda a produção global, somente no ano 2017 (ONU, 2018). A China desponta com um maior crescimento de 40%, previsto até o ano de 2024 (EIA, 2019) e o Brasil, recentemente, ocupava a 31<sup>a</sup> posição no *ranking* mundial de produtores de gás natural convencional, com produção de 25,8 bilhões de m<sup>3</sup> (0,6% do total mundial), após crescimento de 2,6% (ANP, 2020).

Essa notoriedade exercida pelos Estados Unidos se deu pelo fato deste ser também o responsável por desencadear a chamada “Revolução do xisto”, expressão associada ao rápido e considerável desenvolvimento de técnicas para exploração e utilização do gás não-convencional, que assume maior importância que o gás tradicional (Silva, 2020).

Tentativas de enquadrar o México, país vizinho, ao modelo de exploração norte-americano foram estudadas e obtiveram como resultado o insucesso da aplicação, frente às políticas públicas/legislação daquele país, caracterizado por particularidades relativas aos hábitos e costumes do povo norte-americano, que levam a nação a uma constituição peculiar. Fato este que se repete mundo afora (Saussay, 2017).

Cada nação tem sua configuração jurídica e as suas políticas públicas levam a uma condução diferenciada em relação à exploração das reservas de *shale gas*. Fatores ambientais, aliados à ausência de normativas legais trazem o Brasil a um cenário de atraso na exploração e comercialização das reservas nacionais. (Silva, 2020).

Neste contexto, o Brasil, 10º no *ranking* mundial de maiores produtores de gás não-convencional (Sousa *et al.*, 2016), detém reservas de *shale gas* mapeadas em sua maioria com localização em terra, mostrando um grande potencial de recuperação destes hidrocarbonetos. Com isto, surge uma oportunidade para o desenvolvimento do mercado de gás nacional, em virtude da maior oferta, podendo se expandir por todo o território e, assim, criando expectativa no crescimento da indústria de gás brasileira (Abelha, 2016; Lage, *et al.*, 2013).

Vale destacar que estas reservas estão distribuídas por diversos locais do território nacional, tais como: as bacias de Parecis (em Mato Grosso), de Parnaíba (entre Maranhão e Piauí), Recôncavo (na Bahia), Paraná (entre Paraná e Mato Grosso do Sul) e São Francisco (entre Minas Gerais e Bahia), possuindo reservas recuperáveis de 6,4 trilhões de m<sup>3</sup> de gás não-convencional e de 5,3 bilhões de barris de óleo leve de folhelho (Lenhard *et al.*, 2018; Ribeiro, 2014; Taioli, 2013).

Assim, aliado às questões legislativas nacionais brasileiras, os fatores econômicos, operacionais e ambientais dificultam a exploração desses reservatórios,

já que exigem altos investimentos em tecnologias e equipamentos, além da necessidade de ampliação da malha de gasodutos no país (Bilgili *et al.*, 2020).

Vale ressaltar que três tecnologias críticas emergiram por meio de investimentos na área, e têm sido cruciais para o recente crescimento na extração de gás de xisto pelo mundo, sendo elas: (i) imagem microssísmica tridimensional, para mapear formações do subsolo; (ii) fraturamento hidráulico para, efetivamente, liberar o gás natural dos poros da rocha; e (iii) técnicas de perfuração horizontal para interface com uma seção maior das camadas de xisto (Whitton *et al.*, 2017).

Desde a década de 1970, se discutem políticas do desenvolvimento sustentável e metodologias para alcançar a economia circular. Contudo, até o ano de 2012 os desafios a serem enfrentados em escala global eram distribuídas em 08 (oito) Desafios do Milênio para cumprimento até 2015 (Caiado *et al.*, 2018; Tiozzi & Simon, 2021). Estas, após discussões realizadas na Cúpula das Nações Unidas, foram substituídas pelo atuais 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecendo novos parâmetros para o desenvolvimento sustentável, os quais visam estabelecer diretrizes e prazos de implantação. Esta pesquisa se interrelaciona por meio do conceito de ciclo dos ODS 6; 7; 9; 12 e 13 (Figura 1) que tratam de questões ligadas ao meio ambiente, consumo e produção (Merino-Saum *et al.*, 2018).

**Figura 1:** Interrelação dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS 6, 7, 9, 12 e 13)



Fonte: Adaptado de Agenda 2030 (2021)

Na literatura existente é raro encontrar abordagens focadas em estudar o comportamento e a viabilidade do uso e reaproveitamento da água do aquífero São Sebastião (BA) e as consequências frente ao consumo e a questões ambientais para a população da região da Bacia do Recôncavo Norte. Essa pesquisa tem caráter inovador, ao focar nos aspectos do aquífero, frente ao seu poder esclarecedor da demanda doméstica, industrial e do incremento do uso do fraturamento hidráulico para extração de *shale gas* para aquela região.

Este estudo visa contribuir para a viabilização de um conceito próprio, regional, acerca da exploração do gás de folhelho, com fim em subsidiar a leitura do cenário local por meio de revisão de publicações realizadas pela comunidade internacional, pois, há lacunas processuais de análise e viabilidade gigantescas entre nações mundiais, a exemplo dos EUA e China que avançam significativamente em pesquisas e na extração do material fóssil em diversas regiões de cada país (EIA, 2019; Aguiar, 2015). Em contraponto, há outros estados soberanos que emperraram o avançar da temática em decorrência de empecilhos decorrentes da falta de dados, experimentos e pesquisas que indiquem o grau de sustentabilidade regional (Vengosh *et al.*, 2013).

Diante disso, esta pesquisa traz resultados e esclarecimentos sobre os elementos ambientais de grande relevância para o aquífero de São Sebastião (BA), na Bacia do Recôncavo Baiano Norte; a possível operação do método de fraturamento hidráulico e sua possível influência no aquífero; os impactos na cadeia de fornecimento, aquisição, logística, utilização e manuseio de componentes químicos como fluidos de fraturamento; os impactos ambientais e econômicos derivados da exploração do gás de folhelho; o quantitativo, o tratamento e a destinação dos fluidos oriundos do aquífero no processo de fraturamento hidráulico para extração de *shale gas*.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Geral

Avaliar os impactos ambientais e econômicos relacionados ao uso da água no emprego do método de fraturamento hidráulico para a potencial exploração de *shale gas* na região do Aquífero São Sebastião (BA), na Bacia do Recôncavo Baiano.

### 1.1.2. Específicos

- Especificar as características geológicas e o potencial hídrico do Aquífero Marizal - São Sebastião (BA), para abastecimento humano e consumo industrial na região do Recôncavo Norte/BA;
- Avaliar o potencial emprego do método de fraturamento hidráulico, na extração de *shale gas*, na região do aquífero São Sebastião;
- Estimar o quantitativo de água, o seu tratamento e a destinação destes efluentes, necessários para o emprego do método de fraturamento hidráulico;
- Avaliar a possibilidade de contaminação do aquífero São Sebastião devido ao emprego do método de fraturamento hidráulico, para potencial exploração de *shale gas*, na região de estudo.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. O *Shale Gas* – Conceito

Os processos geológicos que influenciaram na formação das rochas reservatórios envolvem a lixiviação, infiltração e intemperismo dos materiais em decomposição, submetidos à agentes químicos naturais, junto às pequenas partículas minerais de solos argilosos e de quartzo enterrados, que são compactados pelo peso dos sedimentos sobrepostos e cimentados através de um processo chamado litificação de hidrocarbonetos em forma de óleo e gás confinados entre os pigmentos rochosos (Benavides & Diwekar, 2015; Soeder, 2018).

O surgimento do gás natural acontece durante longos períodos geológicos por meio de etapas físico-químicas ocasionadas pela ação conjunta do tempo, pressão e temperatura, que demandam o processo de maturação da substância denominada de *Kerogêno* (querogênio). Neste processo, os compostos presentes em rocha sedimentar surgem da decomposição da matéria orgânica que permanece soterrada sob condições redutoras e insolúveis em solventes orgânicos (Herrera Herbert, 2020).

A maturidade da matéria orgânica é alcançada em conformidade com a profundidade e a temperatura, conforme demonstrado no Quadro 1, nos estágios de: Diagenese, Catagenese e Metagenese.

**Quadro 1:** Surgimento de substâncias derivadas da decomposição de matéria orgânica, em função da profundidade e temperatura

Profundidade (Km)	Temperatura Máxima (°C)	Etapa	Produto Gerado
1	90	Diagêneses (etapa submadura)	Kerogênio + Gas Biogênico (sem geração de HCS)
			Início da geração de petróleo
4	175	Catagêneses (etapa madura)	Petróleo
			Limite da preservação do petróleo
5	220	Metagêneses (etapa supermadura)	Gás úmido (líquido)
			Limite da preservação do gás úmido (líquido)
6	315		Gás seco
			Limite da preservação do gás seco

Janela do petróleo

**Fonte:** Adaptado de Herrera Herbert (2020)

Em síntese, na diagênese, há a reorganização celular causada pela atividade bacteriana que culmina na conversão da matéria orgânica em querogênio, tendo como produto formado o metano (CH<sub>4</sub>), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), a água (H<sub>2</sub>O) e o sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), em temperaturas até 65°C. Quando esse querogênio é convertido em hidrocarbonetos, nos estados líquido e gasoso, pela quebra das moléculas com ajuda da temperatura (165°C), dá-se a etapa de Catagênese (Thomas, 2001). É nesta fase que a faixa máxima de geração é referida como a "janela de óleo" e a faixa de geração máxima de gás natural denominada "janela de gás" (Herrera Herbert, 2020).

A diferença entre estas janelas ocorre em função das suas profundidades e da temperatura de geração sendo, no caso do gás natural, muito superior em relação ao petróleo. Vale ressaltar ainda que, a partir da etapa de Catagênese, formam-se óleos condensados e gás úmido, predominantemente. Contudo, os hidrocarbonetos líquidos gerados podem ser convertidos em hidrocarbonetos gasosos, com o incremento na temperatura (210°C) e posterior degradação, tendo como produtos o grafite, gás

carbônico e algum resíduo de gás metano, processos estes conhecidos como Metagênese e Metamorfismo, respectivamente (Thomas *et al.*, 2001).

No caso de reservatórios de gás convencionais, o gás proveniente do leito rochoso tem a possibilidade de migrar para áreas mais superficiais, devido à permeabilidade de seus poros e à pressão estratigráfica de formação, depositando em rochas de armazenamento (Tissob & Welte, 1987). Já o gás de folhelho (também conhecido como “*shale gas*”, ou gás de xisto, como é chamado no Brasil), segundo Soeder (2018), é o gás que se encontra nas rochas sedimentares denominadas de folhelho. Este tipo de rocha metamórfica é rico em argilas que derivaram de sedimentos finos depositados em ambientes como fundos de lagos e mares, tendo estrutura laminar paralela e compacta.

Estes folhelhos (Figura 2) são caracterizados por grãos finos e ricos em rochas sedimentares, compondo estruturas geológicas com poros extremamente pequenos, o que os tornam relativamente impermeáveis ao fluxo de gás, a menos que ocorram fraturas naturais ou artificiais (Simão, 2014).

**Figura 2:** Rochas com características de formação de folhelhos



**Fonte:** Webster (2016); ANA (2021)

O reservatório formado nos folhelhos contém diferentes pressões e temperaturas, sendo as primeiras exercidas pelos sedimentos que encobrem a pedra de xisto e as segundas referem-se ao aquecimento da matéria orgânica devido à proximidade ao centro da Terra, em média de 60°C a 120°C (Xiong, 2020). Sua estrutura pode ser homogênea ou apresentar fraturas naturalmente, contendo várias camadas ou somente uma única camada com a possibilidade de se encontrar gás, óleo ou os dois juntos (Benavides & Diwekar, 2015; EIA, 2015).

Gás de Folhelho é contido em rocha geradora de baixa permeabilidade – menor que as de formações convencionais – de forma que apenas pequeno volume de gás flui naturalmente para o poço. Além disso, tal espécie é localizada em camadas profundas, de difícil extração, o que demanda tecnologia avançada (ANP, 2020, p. 225).

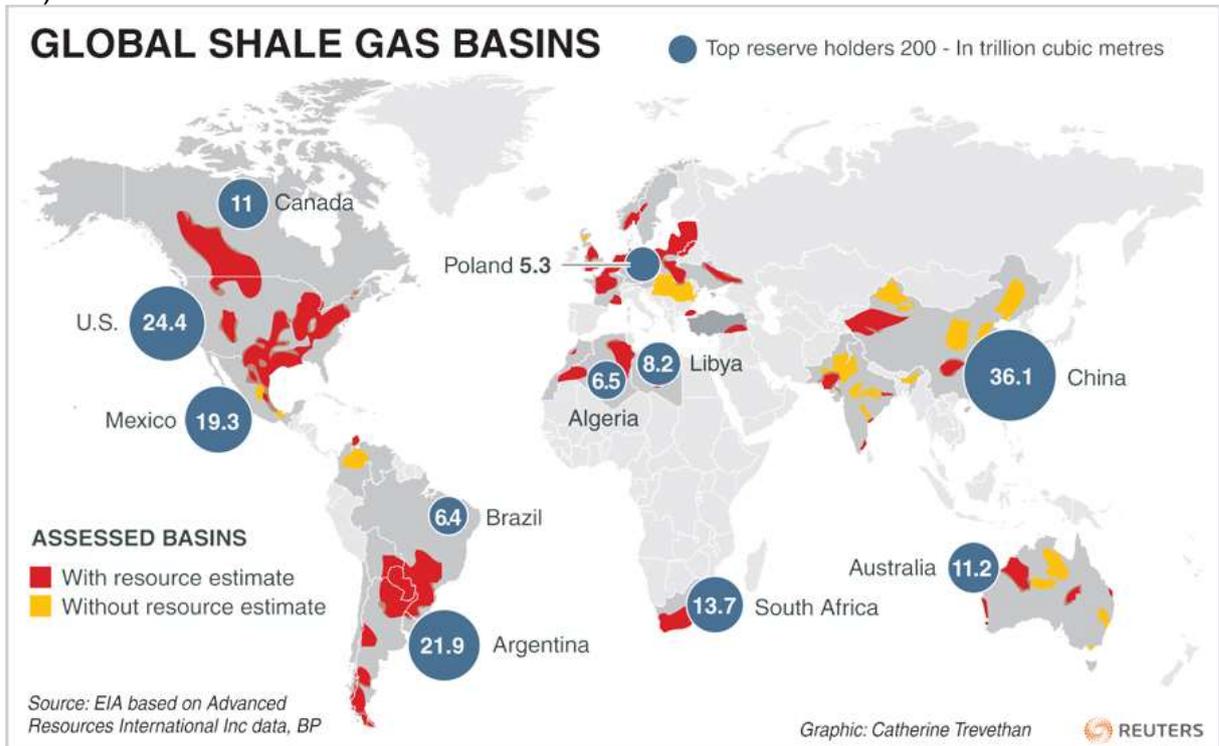
Além disso, o gás de xisto, segundo Partridge *et al.* (2017), é uma fonte de energia primária amplamente utilizada para o aquecimento, geração de eletricidade, transporte e fabricação de produtos químicos, podendo ser um componente energético utilizado na transição por fontes sustentáveis não poluentes. Lenhard *et al.* (2018) e Stephenson (2015) definem sua composição química com as seguintes características: 75% a 97% de metano (CH<sub>4</sub>), 2% a 18% de etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), até 4% de propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), até 5% de butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), além de outros componentes que compõem o chamado código genético do hidrocarboneto.

Assim, em atenção à evolução tecnológica atual e às demandas por utilização de fontes energéticas mais limpas, as nações voltaram suas atenções ao estudo e mapeamento dos hidrocarbonetos não convencionais (Agenda 2030, 2021).

## 2.2. O *Shale Gas* – Cenário Mundial

O cenário energético mundial é caracterizado por uma grande concentração de reservas de gás de folhelho nas Américas - América do Norte (Estados Unidos, segunda maior reserva mundial), América Central (México) e América do Sul (Argentina e Brasil) e na Ásia, mais precisamente na China, que detém a maior reserva mundial com 36,1 trilhões de metros cúbicos deste recurso (Figura 3) (EIA, 2015; Lenhard, Andersen, & Coimbra-Araújo, 2018).

**Figura 3:** Estimativas de reservas mundiais de gás não-convencional (em trilhões de m<sup>3</sup>)



**Fonte:** EIA (2015)

O destaque internacional, atualmente, é dos Estados Unidos, que iniciou a produção do gás não-convencional a partir do ano 2000, e desde então vem expandindo rapidamente, elevando a produção de 11 bilhões de metros cúbicos para cerca de 136 bilhões de metros cúbicos, em 2010, e acumulando 914,6 bilhões de metros cúbicos, em 2020. Com efeito, a participação do *shale gas* na produção de gás natural no país saiu de 15,8% (em 2009) para 77,8% (em 2019). Atualmente, como consequência da conjuntura econômica global no período entre os anos de 2019/2020, foi registrado decréscimo 1,66% na produção americana, conforme Quadro 2. (ANP, 2014; ANP, 2021; INEEP, 2020; Milkov, 2020).

**Quadro 2:** Evolução da produção de gás não-convencional nos EUA

Produção de Gás Natural nos Estados Unidos da América										
Ano	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Produção (bilhões de m<sup>3</sup>)</b>	617,40	649,10	655,70	704,70	740,30	727,40	746,20	840,90	930,00	914,60
Taxa de Crescimento Anual		5,13%	1,02%	7,47%	5,05%	-1,74%	2,58%	12,69%	10,60%	-1,66%

**Fonte:** Adaptado de ANP (2021)

A China, maior reserva mundial, teve início tardio da extração de *shale gas*, decorrentes de impedimentos burocráticos e pela falta de incentivos necessários à alta demanda de investimentos iniciais, Yuan (2015), Xia *et al.* (2015) e Liu *et al.* (2020). Contudo, passado este primeiro momento burocrático, e em estágios mais evoluídos, consequentes de avanços tecnológicos, o desenvolvimento de gás de xisto pode não precisar dessas políticas preferenciais fortes para alcançar a viabilidade econômica ou para permanecer lucrativo (Shar & Abro, 2020).

Segundo Rocha *et al.* (2015a), na América do Sul, a segunda maior reserva de gás não-convencional está localizada no Brasil e a maior na Argentina, que não é somente a maior da América do Sul, e sim, a terceira maior reserva de gás de xisto do mundo, depois da China e Estados Unidos. De certo que diante desta importância das reservas brasileiras, é necessário o entendimento do contexto local.

### 2.3. O *Shale Gas* – Cenário Nacional

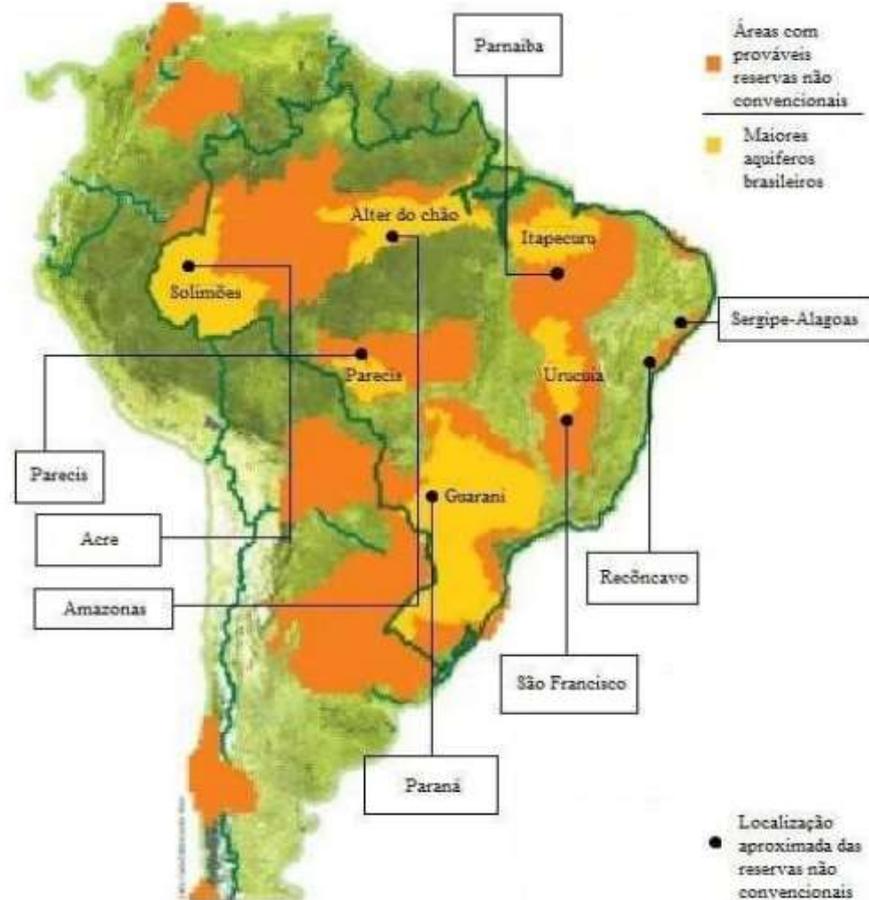
No Brasil, após o mapeamento das áreas com potencial exploratório de *shale gas*, foram realizadas divisões em lotes para procedimento licitatório e posterior exploração, conforme a legislação nacional preconiza. Blattler (2017) destaca que, a partir de 2013, o tema referente à extração de gás de folhelho passou a ser discutido de maneira assídua, na qual se incluía campos com a existência de reservatórios não-convencionais nas bacias hidrográficas do Paraná, Sergipe-Alagoas e Recôncavo Baiano (ANP, 2020).

Destaca-se ainda, que a Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2016) se baseou em entendimento próprio de que teria competência para regular atividades do setor, estipulando metas exploratórias com o intuito de declaração de comercialidade das reservas não-convencionais, sendo o único documento que regula os moldes exploratórios das reservas não-convencionais brasileiras, até o ano de 2017.

Ainda em 2013, a partir da Resolução nº 06/2013 do Conselho Nacional de Política Energética, com base na existência do *shale gas* ou gás de folhelho em terra “*onshore*”, no Brasil, ocorreu a rodada de licitações onde foram arrematados 72 blocos correspondendo a uma área total de 47 mil km<sup>2</sup> nas bacias sedimentares do

Recôncavo, Sergipe-Alagoas, Paraná, Parnaíba e Acre, destacadas na Figura 4 (ANP, 2016; Macedo & Ribeiro, 2016).

**Figura 4:** Regiões de potenciais reservatórios para exploração de *shale gas* versus maiores aquíferos, no Brasil



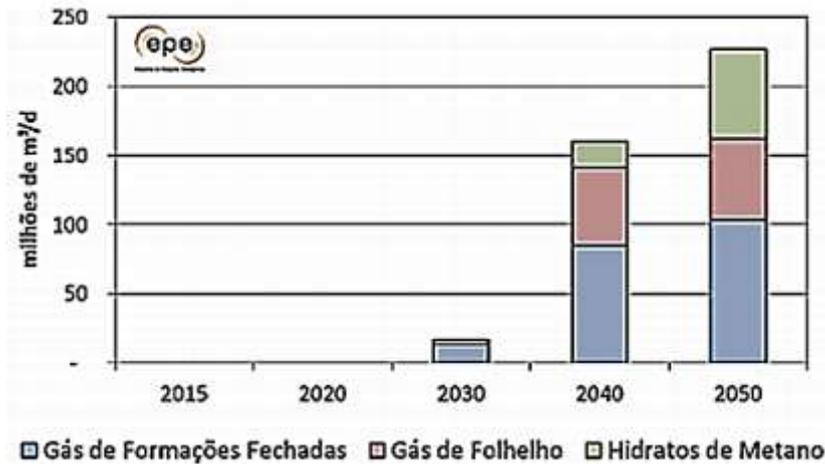
Fonte: Macedo & Ribeiro (2016)

Porém, o documento citado anteriormente teve seus efeitos suspensos em decisão liminar expedida pela Justiça Federal a pedido do Ministério Público Federal no Paraná por meio da Ação Civil Pública de nº 5005509-18.2014.404.7005, a fim de evitar a exploração do gás não-convencional sem prévio estudo acerca do método de *fracking*. Além disso, a sentença determinou, também, que a ANP não realizasse novas licitações referentes à exploração e produção de *shale gas* na bacia do Paraná (Blattler 2017; Feltrim 2019; MPF/PR 2017; Pierry 2018).

Com relação à produção de gás natural convencional, no Brasil, a ANP (2020) destaca que as bacias terrestres produziram cerca de 23 milhões de m<sup>3</sup>/dia, o que corresponde a 18,6% da produção nacional total, havendo um aumento de 3,6% no ano de 2019, comparado a 2018.

Com a estimativa da ordem de 7,5 trilhões de  $\text{dm}^3$ , em relação a descoberta de poços de gás de xisto (Anjos *et al.*, 2014), o Brasil poderá produzir, em 2050, aproximadamente 230 milhões de  $\text{m}^3/\text{dia}$  de gás natural a partir de recursos não-convencionais, valor da mesma ordem de grandeza da oferta potencial de recursos convencionais (Figura 5) (EPE, 2018).

**Figura 5:** Projeção da oferta potencial de gás natural não-convencional, para o Brasil



Fonte: EPE (2018)

De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE), o Brasil possui atualmente a décima maior reserva mundial de gás não-convencional. Além disso, estudos realizados pela ANP (2014) indicaram cinco bacias com grandes reservas para potencial produção desse tipo de combustível fóssil, representadas pela Bacia do Parnaíba, Bacia de Parecis, Bacia do Paraná, Bacia do Recôncavo e Bacia do São Francisco, além de bacias secundárias como Bacia do Solimões, Bacia Amazonas e Bacia Potiguar (Simão 2014; Carpejani *et al.* 2020).

#### 2.4. Geologia da Bacia do Recôncavo Baiano Norte

A Bacia do Recôncavo possui formação geológica composta por falhas (Figura 6) devido a esforços distintos que atuaram no supercontinente do Sul (*Gondwana*), durante o período Mesozoico, representando a parte Sul do ramo Oeste do *Rift Valley*, implantada na região costeira do Brasil. Está localizada na Região Nordeste do Brasil, mais precisamente no Estado da Bahia, ao Norte da capital Salvador, abrangendo uma área de 40 municípios, com aproximadamente  $11.500 \text{ km}^2$  ou 3% da superfície total do Estado da Bahia (ANP 2020; Araripe 2003; IBGE 2010).

**Figura 6:** Esquemático da Geologia da Bacia do Recôncavo Norte



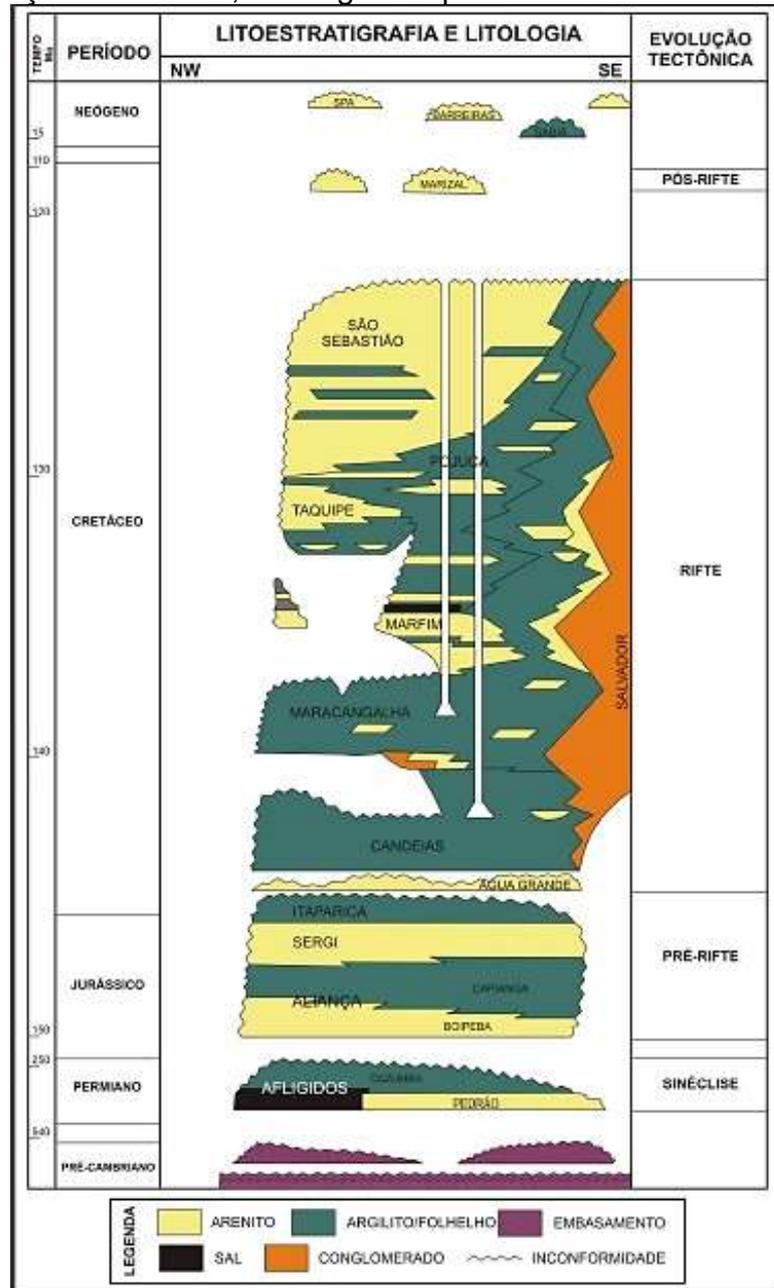
Fonte: Adaptado Petrobras (2015)

A região está consolidada estratigraficamente devido a sua geocronografia ou escala do tempo geológico, que se refere à Era Histórica de formações geológicas características. Nesta região, há a presença de materiais originários dos períodos Cenozoico (Neógeno), Mesozoico (Cretáceo e Triássico), Paleozoico (Permiano) e Pré-Cambriano (Figura 7) (Nascimento *et al.*, 2016).

Vale sinalizar que as placas de formações geológicas eram constituídas de bloco único, compostas por sedimentos continentais aluviais, fluviais, eólicos e lacustres rasos, assinalados por sal, argilitos folhelhos e arenitos no período Pré-*Rifte*. Na sequência, o *Rifte* foi o ponto de evolução tectônica ocorrido no período Cretáceo, onde surgiram fissuras nas placas, ocasionando as chamadas falhas geológicas presentes na litoestratigrafia (Figura 7), por meio do conglomerado e das inconformidades, tão presentes na capital Salvador (Freire *et al.*, 2020). Isso pode ser observado na diferença de cota entre o que se denomina cidade alta e cidade baixa, em Salvador, e as diversas encostas que marcam o relevo soteropolitano e do Recôncavo Baiano (Milani *et al.*, 2007).

A partir do *Rifte*, originou-se a formação São Sebastião, com característica de arenitos fluviais e, conseqüentemente, apresentando alta permeabilidade no solo (Figura 7). No período seguinte, denominado Pós-*Rifte*, ocorrido no final da Era Cretácea surgiu a formação Marizal, composta por arenitos cinza-esbranquiçados a amarelados, de granulação fina a média, maciços ou estratificações cruzadas acanaladas. Esta formação contém níveis de conglomerados na base e intercalações de siltitos, folhelhos e calcários que, geologicamente, é localizado acima da formação São Sebastião (Silva *et al.*, 2011).

**Figura 7:** Estratigrafia da Região do Recôncavo Norte Baiano, mostrando as diferentes formações rochosas, ao longo dos períodos das Eras Geológicas



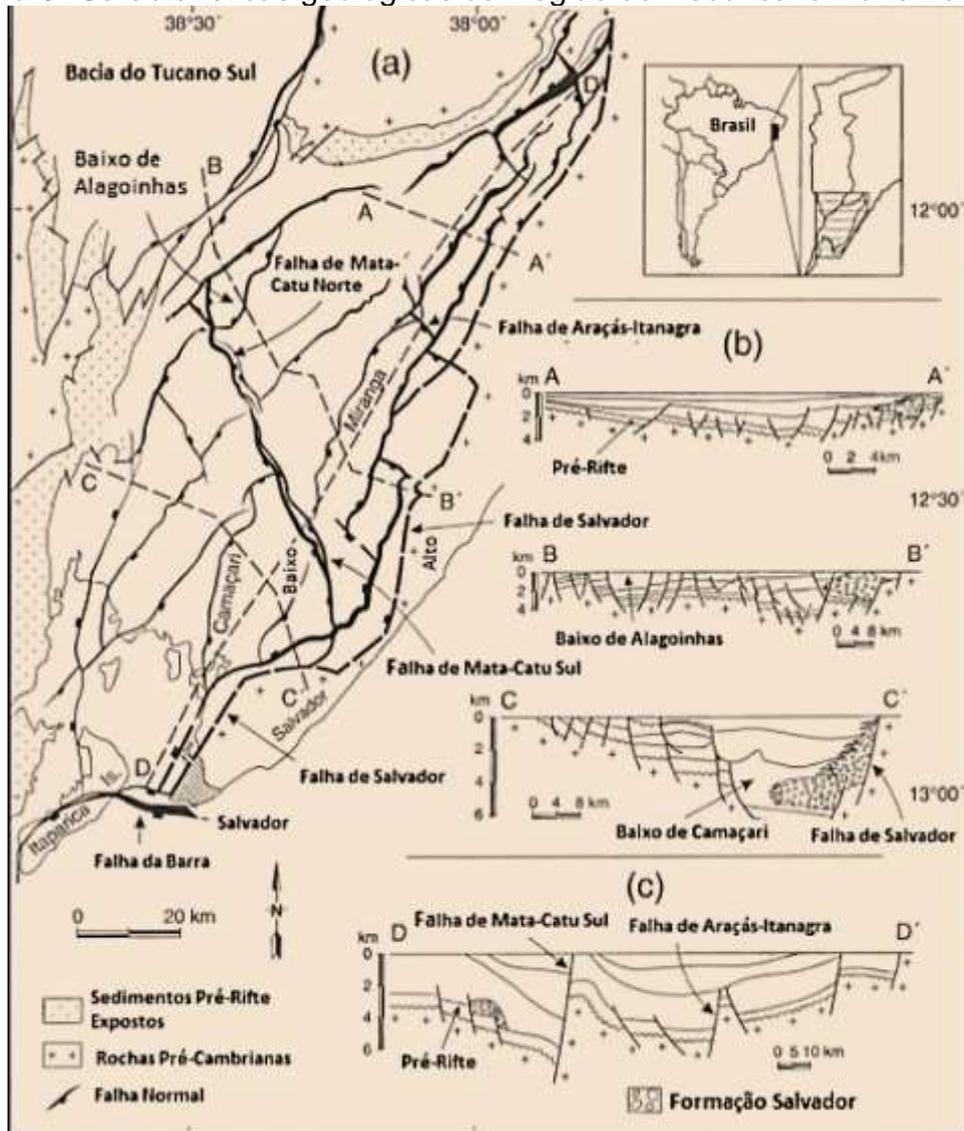
Fonte: Silva *et al.* (2011)

Continuamente, na Era Neógeno, marcou-se a presença das menores e mais superficiais formações denominadas Sedimentos de Praias e Aluviões (SPA), Barreiras e Sabiá, onde as duas primeiras apresentaram composição arenito e a terceira de argilito folhelho (Milani *et al.*, 2007; Freire *et al.*, 2020; Nascimento *et al.*, 2016; Nascimento & Alves, 2014;).

Com relação às falhas, na Figura 8 está o caminhamento das estruturas geológicas na região de estudo, referente ao período do *Rifte*, com destaque para os

cortes esquemáticos AA' (Falha Araçás-Itanagra); BB' (Baixo de Alagoinhas); CC' (Falha na região Baixo Camaçari e Salvador), e DD' (Falha Mata-Catu e Araçás-Itanagra). Nestes cortes, é possível observar a largura e a profundidade, bem como o tipo de solo presente e sua origem temporal (Destro *et al.*, 2003).

**Figura 8:** Características geológicas da Região do Recôncavo Norte Baiano



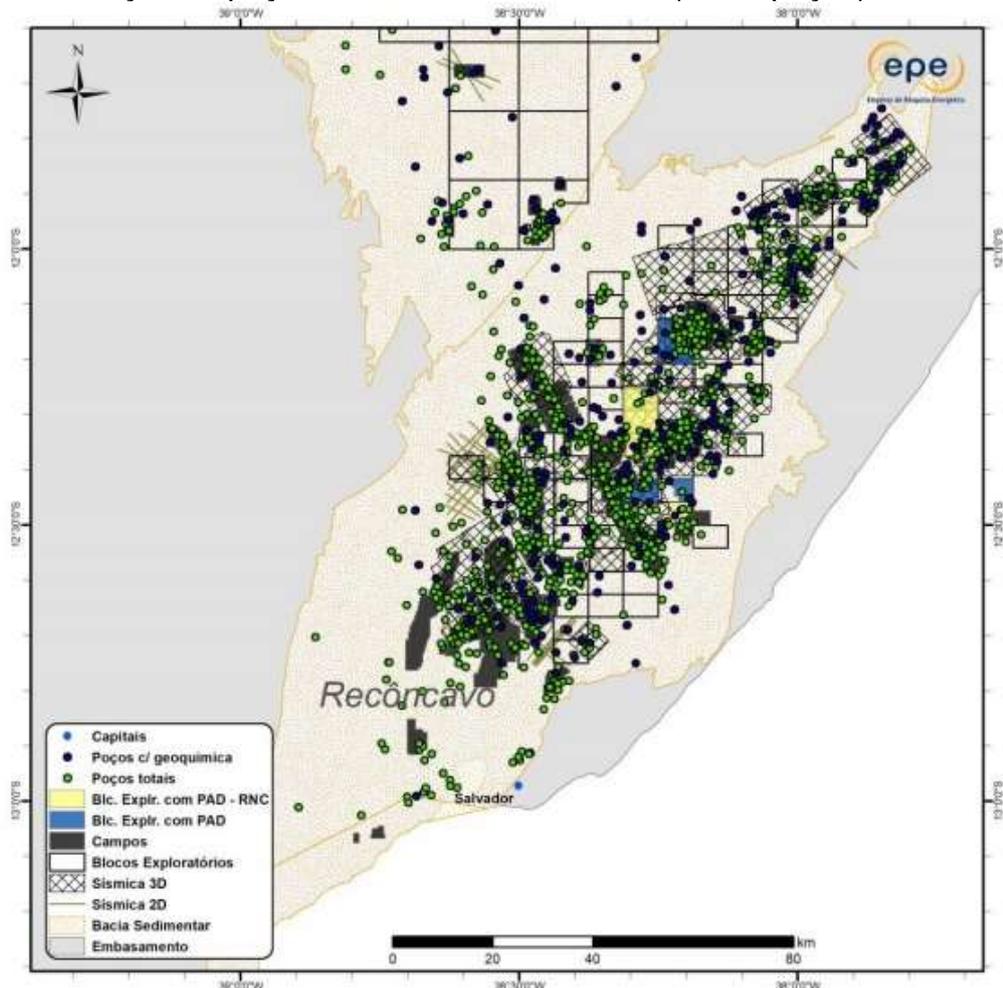
Fonte: Destro *et al.* (2003)

Em relação à exploração dos hidrocarbonetos presentes nesta região, que já ocorre há mais de 60 anos, a mesma destaca-se como uma bacia madura, onde os poços convencionais já não possuem pressão para levar a matéria prima até os poços, necessitando de técnicas secundárias ou terciárias para extração destas substâncias. Em relação a estas técnicas, a comunidade científica, em decorrência da pouca utilização destas terminologias, tradicionalmente, as classifica como Método de

Recuperação Avançada as quais são divididas em quatro grandes grupos, tais como: métodos térmicos, métodos miscíveis, métodos químicos e métodos microbiológicos Caenn *et al.* (2011). Estas técnicas tem sido utilizadas na região do Recôncavo, por se tratar de extensão geológica conhecida, e da certeza da existência de *shale gas* com menos riscos de investimentos.

Outrossim, desde a descoberta do primeiro poço, na região do bairro do Lobato, na Capital Baiana, se contabilizam registros de 1.215 poços na Bacia do Recôncavo, por meio da utilização de levantamentos sísmicos 2D e 3D (Figura 9) (ANP, 2016; Porsani & Holz, 2021; Abelha, 2016). Porsani & Holz (2021) descrevem dados sísmicos como um registro de campos de ondas gerados por fontes artificiais, que formam os chamados sismogramas. Estes, após o processamento sísmico, permitem a projeção da configuração estrutural do subsolo, por meio de técnica similar ao de uma ultrassonografia, onde a imagem é formada a partir da onda de som.

**Figura 9:** Distribuição de poços na Bacia do Recôncavo (1.215 poços).



Fonte: ANP (2016)

Estes poços estão espalhados por toda a bacia do Recôncavo Norte, em localidades de exploração de petróleo convencional, das quais estão os municípios de Catu, Madre de Deus, São Francisco do Conde, São Sebastião do Passé, Entre Rios, Araçás, Candeias, Alagoinhas (Figura 10) e Pojuca (Figura 11). A FIEB (2018) avalia que:

O amplo conhecimento geológico da Bacia, a grande quantidade de poços existentes e a excelente infraestrutura petrolífera da região, coloca a Bacia do Recôncavo como alvo prioritário da pesquisa para produção de óleo e gás não-convencional.

**Figura 10:** Distribuição de poços na região de Buracica – Alagoinhas/Bahia\*



Fonte: Google Maps (2021)

**Figura 11:** Distribuição de poços na região de Miranga – Pojuca/Bahia\*



Fonte: Google Maps (2021)

\*Cada região mais clara, nas respectivas imagens de satélite, indicam a presença de poços de exploração de óleo e gás

Vale destacar que, na formação estratigráfica geológica da Bacia do Recôncavo há a presença de água, a qual preenche os vazios dos solos em níveis de profundidades que originam os aquíferos contemplados nas formações Barreiras, Marizal e São Sebastião (Nascimento e Alves, 2014).

## 2.5. Hidrogeologia dos Aquíferos Regionais

Os caminhos longos ou curtos percorridos pela água no seu estado gasoso, compõem o chamado ciclo da água, por meio de movimentação dos vapores originários da evaporação em rios, lagos, lagoas, oceanos, cursos d'água e superfícies do solo e da evapotranspiração de águas geradas pela vegetação. Estes vapores de água se elevam para a atmosfera terrestre e percorrem muitos trajetos ao longo do ciclo hídrico, interagindo com as circulações atmosféricas globais e regionais, formando e relacionando-se com as nuvens e com os sistemas meteorológicos que

as contêm, e voltando à superfície como precipitação. Estas são produtos resultantes dos choques térmicos entre massas de ar com diferentes temperaturas (Rocha *et al.*, 2015).

Os caminhos pelos quais a água entra e sai da atmosfera, apesar de sua complexidade, desempenham um papel fundamental na formação dos mananciais, incluindo as águas subterrâneas (Manoel Filho, 2008; Rocha *et al.*, 2015).

Este processo de movimentação das águas precipitadas, ao atingirem a superfície, ocorre por meio do escoamento superficial e/ou da infiltração (Figura 12), que depende muito das condições e tipologias dos solos, dando início à saturação das rochas com boas permeabilidade e porosidade. Ao movimentar-se no subsolo, estes efluentes tendem a preencher totalmente os vazios nas formações rochosas subterrâneas e se deslocar, a fim de manter o equilíbrio hidrostático e alcançar pontos de descargas em afloramentos superficiais, rios, lagos ou oceanos (Cabral, 2008).

**Figura 12:** Ciclo da água



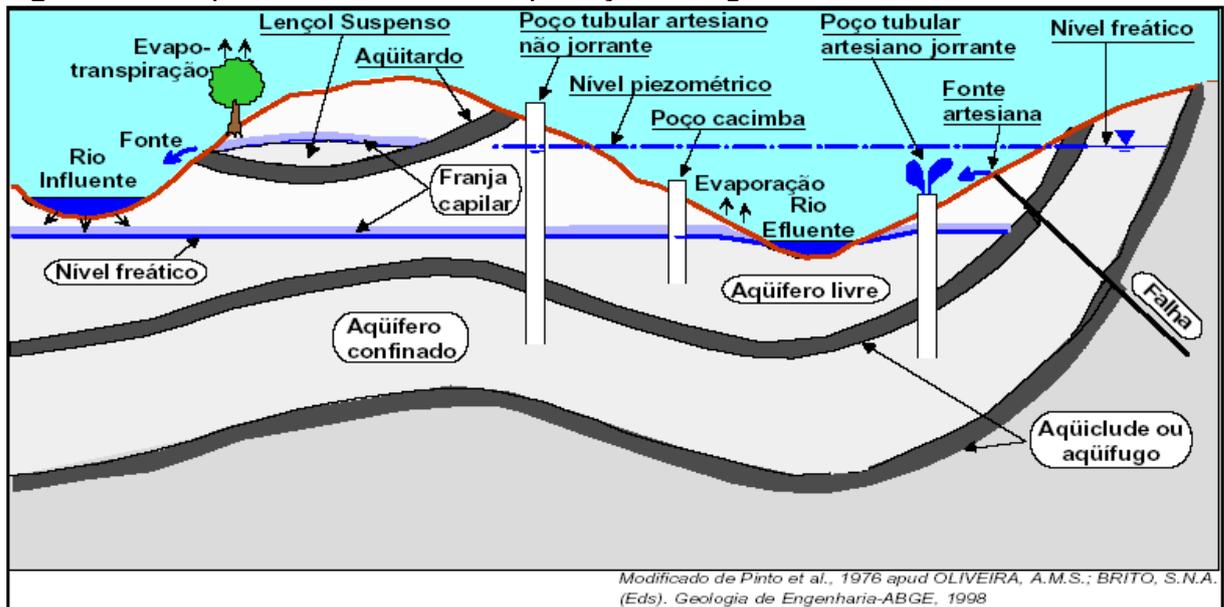
Fonte: Evans (2006)

Segundo Suassuna (2020), as águas subterrâneas compõem os chamados aquíferos e respondem por 97% das águas doces no estado líquido do planeta. Com

responsabilidade de sustentação de diversos sistemas aquáticos como rios, lagos, mangues e pântanos, estes aquíferos são essenciais para a manutenção de florestas em regiões de clima tropical ou seco. Vale destacar que, o fluxo das águas subterrâneas impede o ingresso da água salgada marinha no continente e conseqüentemente, a não salinização de aquíferos costeiros. Sem ela, o planeta seria muito mais seco e com uma menor biodiversidade.

Assim como no sistema petrolífero, os aquíferos são explorados no Brasil, por meio de poços. No caso das águas, os poços podem ser classificados como artesianos jorrantes, não jorrante ou poços cacimbas, conforme Figura 13. Esta classificação se deve ao tipo de aquífero perfurado e a sua pressão interna. Ressalta-se que, no caso de aquíferos confinados por camadas impermeáveis, a pressão de confinamento é muito superior à pressão atmosférica, fato este que alinhado às cotas piezométricas pode ocasionar em um poço jorrante ou não.

**Figura 13:** Esquema mostrando a exploração de águas subterrâneas



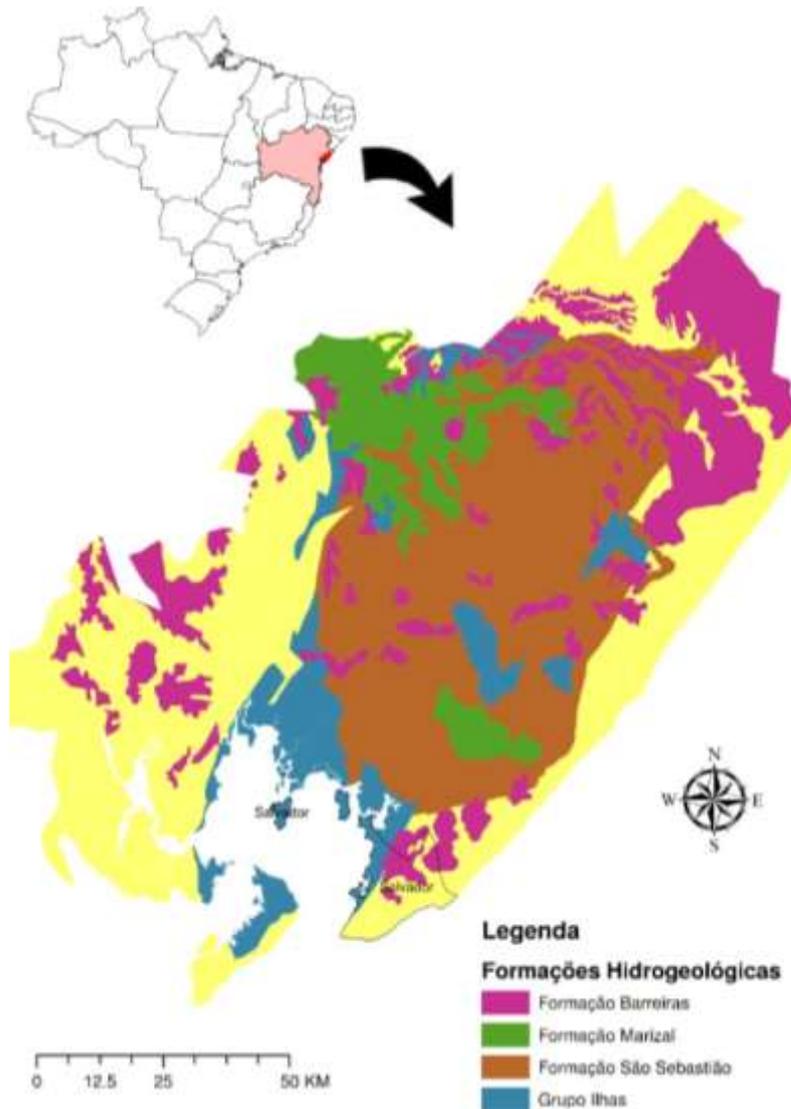
**Fonte:** Cabral (2008)

Em suma, no cenário nacional, o consumo total de água é realizado para o abastecimento doméstico (30%), agropecuário (24%), abastecimento público urbano (18%) e abastecimento múltiplo (14%), industrial (10%) e outros (4%), tais como para o lazer (Suassuna, 2020).

Em termos populacionais, 82,3% da população das cidades brasileiras são abastecidas por fontes superficiais ao passo que apenas 17,7% são atendidos pelas

águas subterrâneas, o equivalente a um volume de água extraída dos aquíferos da ordem de 1.660 milhões de m<sup>3</sup> ao ano (Suassuna, 2020) Em geral, é importante sinalizar a configuração hídrica subterrânea da região de estudo. Assim, a Figura 14 demonstra a configuração local dos aquíferos do Recôncavo Norte Baiano.

**Figura 14:** Mapa situacional dos aquíferos no Recôncavo Norte Baiano



**Fonte:** Próprio Autor (2021)

De acordo com Nascimento *et al.* (2012), o sistema aquífero Marizal-São Sebastião, localizado no Estado da Bahia (Brasil), é constituído por dois componentes acoplados. O primeiro livre, normalmente um reservatório de armazenamento limitado, mas que controla substancialmente a recarga do sistema artesianos regional, representado pelas coberturas das Formações Marizal e pela parte superior da Formação São Sebastião (Stefano *et al.*, 2019). E um segundo componente

semiconfinado ou artesiano, representado pelos pacotes de arenitos contidos totalmente na Formação São Sebastião (Santos *et al.*, 2010).

Já o aquífero Barreiras recebe esta nomenclatura por estar situado na região geológicas da formação Barreiras. Possui vazões consideradas moderadas, podendo atingir uma capacidade máxima de 50 m<sup>3</sup>/h, em determinadas regiões. Em relação à sua classificação, em algumas áreas, pode variar entre a condição de aquífero livre ou de aquífero localmente semiconfinado. Outrossim, o sistema Aquífero Barreiras é formado por sedimentos sobrepostos à formação Marizal e a formação São Sebastião (Stefano *et al.*, 2019).

Destaca-se ainda, que esse aquífero livre é muito importante pois funciona como área de recarga para os sistemas aquíferos sotopostos. Segundo a IBGE (2013), em valores específicos médios, sua capacidade específica, que é obtida através da divisão simples entre a vazão extraída e o rebaixamento produzido, pode superar os 3 m<sup>3</sup>/h/m e, no geral, em função da composição do solo, possui recarga favorável, tanto do ponto de vista do solo (infiltração) quanto do índice de pluviosidade da região, considerada alta. Ademais, nesta área as águas subterrâneas na formação Barreiras têm pouca variação na qualidade química sendo normalmente boas para consumo humano.

Em relação ao aquífero Marizal, vale sinalizar que sua capacidade específica média é de aproximadamente 2 m<sup>3</sup>/h/m, com águas de qualidade variando de boas para consumo humano no geral, em algumas localidades, ou com qualidade mais prejudicada quando na presença de carbonatos e sulfatos ocorridos em algumas áreas restritas (CPRM, 2010; Nascimento *et al.*, 2012). Este sistema aquífero é responsável pelo abastecimento de uma população estimada acima dos 4,5 milhões de habitantes (IBGE, 2020).

Com a implementação da extração do gás de folhelho, nesta região, seria necessário, para operações de fraturamento em um único poço, um volume de água de 10.000 a 25.000 m<sup>3</sup>, conforme a Plataforma de Informação Sobre Gás de Folhelho (SHIP, 2020), podendo apresentar uma pequena variação quando comparados aos registros de 10.000 m<sup>3</sup> a 30.000 m<sup>3</sup> de acordo com outros autores (Benavides & Diwekar, 2015; Delgado *et al.*, 2016; Gao & You, 2017; Hammond & O'Grady, 2017; Meng, 2017; Stamford & Azapagic, 2014).

Com relação ao aquífero São Sebastião, este tem boa infiltração por ser constituído por camadas arenosas, com intercalações de argilas. Sua espessura, pode chegar a 3.000 m, com elevado potencial hidrogeológico e possibilidade de se alcançar água doce até uma profundidade de 1.000 m (Costa *et al.*, 2007). Vale ressaltar que a qualidade química das águas do aquífero São Sebastião é considerada de excelente qualidade, conforme parâmetros químicos estabelecidos pela Resolução Conama nº 396, de 3 de abril de 2008 (Peixinho, 2016).

Embora a área destes aquíferos atinjam outras bacias, a exemplo da Bacia de Tucano, os afloramentos do São Sebastião ocorrem, principalmente, na Bacia Sedimentar do Recôncavo e, em subsuperfície, estende-se até a Bacia Sedimentar do Tucano (Tabela 1). Sua área de recarga é extensa, o que possibilita uma excelente recarga direta a partir dos 1.735 mm de precipitação média por ano (CPRM, 2010; Santos *et al.*, 2010; Stefano *et al.*, 2019).

**Tabela 1:** Principais aquíferos da Bacia do Recôncavo Baiano

<b>AQUÍFERO / CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>VAZÃO (Q) m³/h</b>	<b>PROFUNDIDADE OU ESPESSURA</b>	<b>PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS</b>
<b>Aquífero Barreiras /</b> livre, localmente semiconfinado	Entre 10 e 50	Espessuras variáveis, que atingem cerca de 60 m	Composto por arenitos, arenitos conglomeráticos, argilitos e siltitos, de coloração cinza avermelhadas, roxas e amareladas, pouco consolidados, contínuo, com extensão regional litorânea e próximo a ela.
<b>Aquífero Marizal /</b> normalmente livre, localmente semiconfinado a confinado, com permeabilidade moderada a variável	Entre 10 e 50	Espessura média na faixa de pouco mais de 200 m	Composto essencialmente de arenitos e conglomerados cinza esbranquiçados a amarelo-avermelhados, com siltitos, folhelhos e calcários mais subordinados. Localmente ocorrem finas lâminas de gipsita e barita, contínuo, extensão regional.
<b>Aquífero São Sebastião /</b> Variável entre livre e confinado; em subsuperfície estende-se até a Bacia Sedimentar do Tucano	Acima de 50	Espessura total da unidade ultrapassa os 1.000 m	Principal aquífero da Bacia do Recôncavo, contínuo, extensão regional, constituído essencialmente de arenitos consolidados finos a grosseiros, localmente conglomeráticos, de cores acinzentadas a avermelhadas, e com intercalações de siltitos e folhelhos.

**Fonte:** Adaptado de CPRM (2010); Andrade *et al.* (2014); Nascimento e Alves. (2014)

É importante sinalizar, inicialmente, que a avaliação do comportamento dos aquíferos frente à exploração das águas deve ser verificada por parâmetros distintos,

tais como a temperatura regional, a formação geológica, o volume de precipitação e a quantidade de água retirada frente às perdas pelo uso de técnicas inadequadas na empregabilidade do insumo hidráulico.

## **2.6. Precipitação Pluviométrica na Bacia do Recôncavo Norte**

Segundo Johnston (1997), antes do desenvolvimento geológico nas áreas de rochas carbonáticas e de rochas basálticas situadas no Recôncavo Norte Baiano, quatro sistemas aquíferos altamente transmissivos estavam situados ali e exibiam regimes de fluxo regional vigorosos. Além desses, outros sete sistemas aquíferos, estão localizados em formações essencialmente detríticas e estes apresentaram regimes de fluxo relativamente lentos devido ao clima semiárido ou devido às características hidrogeológicas que limitam a sua recarga.

Diante disso, é importante destacar o comportamento hidrogeológico, do ponto de vista de recarga dos aquíferos frente às precipitações pluviométricas, uma vez que os seus índices e o poder de armazenamento fazem parte do contexto da formação da Bacia do Recôncavo Baiano.

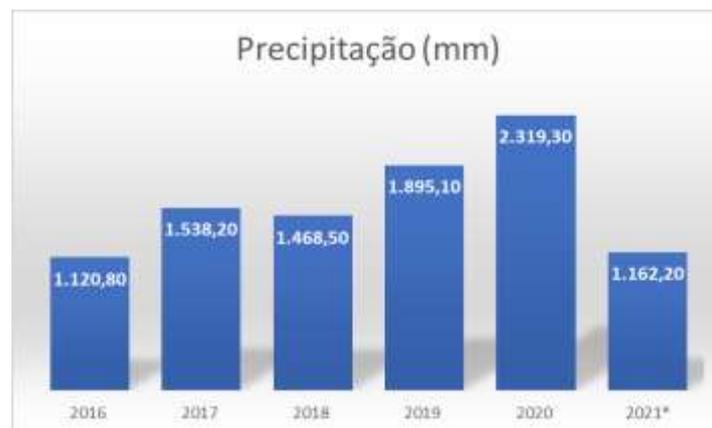
Por se tratar de uma região caracterizada pela presença de um sistema aquífero transmissivo, o Marizal e outro mais profundo que recebe os efluentes do primeiro, o São Sebastião (Nascimento e Alves, 2014). Para tanto, destaca-se a presença de duas estações de monitoramento de pluviosidade (Estação Alagoinhas 83249 e Estação Ondina/Salvador 83229) (INMET, 2021), as quais forneceram os dados demonstrados nas Figuras 15 e 16, e ratificam a variação contemplada nas linhas pluviométricas das isoietas da Figura 17 (DNPM, 2021), que são determinadas levando-se em consideração a média histórica anual.

**Figura 15:** Índices pluviométricos anuais - Estação Meteorológica 83249 - Alagoinhas/BA



**Fonte:** INMET (2021) -Dados de janeiro de 2016/março de 2020.

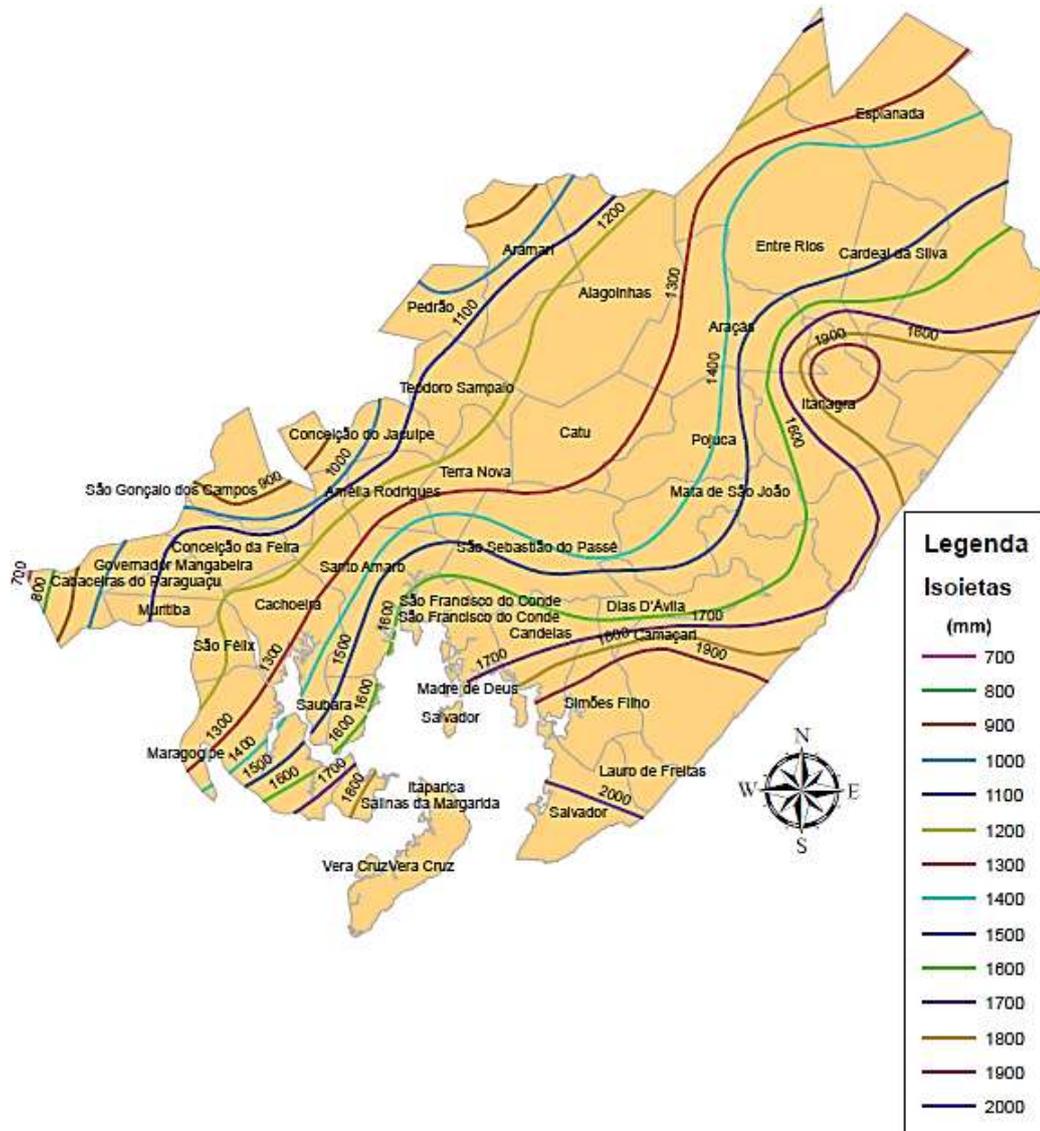
**Figura 16:** Índices pluviométricos anuais - Estação Meteorológica 83229 – Ondina - Salvador/BA



**Fonte:** INMET (2021) -Dados de janeiro de 2016/junho de 2021.

É importante verificar que as linhas de isoietas (Figura 17) que atravessam o município de Alagoinhas/BA, demonstram a incidência de chuvas históricas que variam entre 1.200 a 1.300 mm ao ano (DNPM, 2021). Em contraponto, os dados mostrados na Figura 15, elucidam a precipitação com redução volumétrica, variando entre os anos de 2016 a 2018 entre 847,50 a 1.146,70mm (INMET, 2021), o que pode ter sofrido interferências das mudanças climáticas.

**Figura 17:** Média de índices pluviométricos anuais – Linhas de Isoietas do Recôncavo Norte/BA



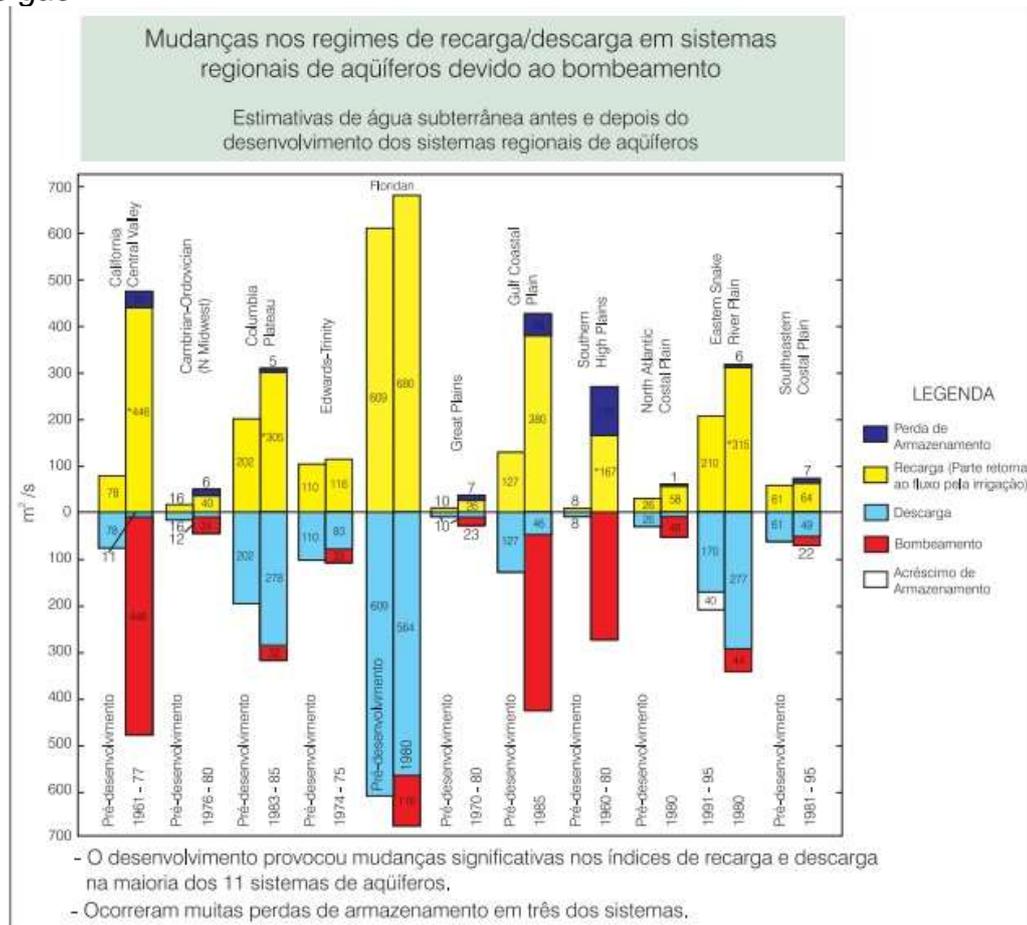
**Fonte:** Dados média histórica anual do DNPM (2021)

No tocante à região de Salvador/BA, as linhas de isoietas (Figura 17) que atravessam a península onde se situa a Capital do Estado, demonstram a incidência de chuvas históricas que variam em torno de 2.000 mm anuais (DNPM, 2021). Todavia, conforme os registros constantes no Figura 16, as precipitações variaram de 2016 a até o mês de junho de 2021 entre 1.120,80 a 1.162,20 mm ao ano (INMET, 2021). Neste caso, vale sinalizar que, em meados do ano em curso, já choveu acima de toda precipitação registrada no ano de 2016, e mudanças das condições climáticas podem estar relacionadas diretamente a este acontecimento.

Em síntese, a variação média de intensidade de chuvas na região de abrangência da Bacia do Recôncavo Norte, segundo DNPM (2021), está em torno de 1.000 mm a 2.000 mm anuais, de oeste para leste, ou seja, do continente para o litoral. Estes indicativos, aliados à formação geológica da bacia, composta em grande parte por materiais granulares arenosos a cascalhosos com taxa de infiltração de 40 a 50%, sendo diminuído a valores de 5 a 20% quando a infiltração ocorre por meio de sedimentos pouco porosos demonstram que, mesmo no cenário geológico menos favorável há uma boa recuperação hídrica dos aquíferos (Brandão, 2008).

Avaliações realizadas entre as décadas de 1970 e 1980, nos EUA, demonstraram o comportamento de vários aquíferos daquele país frente à recarga natural antes e depois do advento da exploração dos mesmos. Destaca-se, como exemplo, que em todos os cenários ilustrados no Figura 18, na etapa pré-desenvolvimento, ou seja, antes da extração de água, os volumes de descarga natural eram integralmente repostos. Todavia, ao início do uso de água, naquela ocasião, para fomentar a agricultura, houve registro de perda de armazenamento (CPRM, 2008).

**Figura 18:** Comportamento de aquíferos nos EUA antes e durante exploração de *shale gas*



Fonte: CPRM (2008)

## 2.7. A demanda por água no manejo processual do *shale gas* frente aos desafios da sustentabilidade

A região em estudo é composta de potencial demanda doméstica e industrial de consumo hídrico oriundo de águas subterrâneas. O uso destas águas na cadeia industrial de hidrocarbonetos, constituem um componente vital em etapas da cadeia produtiva de combustível, com uso já na fase do processo de mineração e passando pela extração e processamento dos combustíveis, pelos equipamentos de resfriamento e pela supressão de poeira. Entretanto, em específico ao seu uso na indústria de petróleo e gás, alcança níveis adicionais na recuperação de terras e revegetação de áreas afetadas com esta atividade. Rocha *et al.* (2015a).

Para Rocha *et al.* (2015a), em relação à pegada hídrica, a extração de gás de xisto demanda 50 a 100 vezes mais água do que a extração de gás natural

convencional. Tal elevação de consumo acontece em consequência da necessidade de realização de etapas adicionais como os processos de perfuração e *fracking*, usados na recuperação do gás natural em formações de hidrocarbonetos não-convencionais. Um exemplo desta demanda prática é registrado na Bacia de Marcellus - EUA, onde a etapa de perfuração em folhelhos requer 296 mil litros de água, aproximadamente, seguido da etapa de *fracking* com uso de 140.600 litros de água por poço (Rocha *et al.*, 2015b).

A grande preocupação internacional, com forte incidência no Brasil, está ligada aos possíveis impactos às águas subterrâneas, no processo de extração do gás de folhelho dentro da dimensão ambiental. Devido a fatores geológicos que incluem a própria formação do folhelho, em sua maioria, em caso da utilização de recuperação secundária ou terciária nas reservas convencionais, a rocha geralmente se encontra próxima a aquíferos, demandando cuidados e estudos acerca do nível de interferência durante e após o fraturamento. E, ademais, sua localização pode se situar a milhares de metros abaixo do lençol freático, em situações de folhelho não-convencional (Delgado, Guilfoos, & Boslett, 2016; Hammond & O'Grady, 2017; McCoy e Saunders, 2015).

Em todos os métodos de perfuração, seja ele convencional ou não-convencional, os furos dos poços atravessam aquíferos livres ou confinados, utilizando um procedimento de passagem de agentes químicos presentes nos fluidos de perfuração ou de fraturamento (ANP, 2020).

De acordo com Delgado *et al.* (2016), a execução das perfurações ocorre seguida de técnicas utilizando várias camadas de proteção, com vista a mitigar vazamentos de substâncias tóxicas, mesmo durante a operação definitiva do poço para os aquíferos. Todavia, Scheibe, *et al.* (2014) avaliam que há possibilidade de contaminação de aquíferos, danos nos reservatórios de água para operação do sistema, entre outros problemas, originários de migração daquelas substâncias, devido à má execução ou imperfeições dos invólucros implantados.

Várias técnicas de isolamento das paredes dos poços são estudadas no mundo. Dentre elas, a cimentação é a mais usual. Contudo, Benavides & Diwekar (2015), verificaram que, caso seja utilizado o revestimento com uso de aço, mesmo utilizando várias camadas deste material, ainda assim, detectou-se a presença de fluidos na

superfície, causados por rupturas de derramamento e fundição. Não obstante, Pereira (2016) sinaliza que a necessidade de realização de novas fraturas durante a operação do poço pode ser motivo de surgimento de falhas, criando caminhos que permitirão a migração de hidrocarbonetos e outros contaminantes até um reservatório de água subterrâneo.

Além disso, as questões ambientais ligadas às águas subterrâneas, por meio da exploração do gás de folhelho, abrangem dúvidas relativas à quantidade de água necessária para o manejo operacional de todo o processo ligado ao *shale gas* e sua disponibilidade (Johnson & Boersma, 2013). Neste contexto, alguns autores relataram que um processo de fraturamento hidráulico pode demandar um volume grande de água, variando em decorrências das características geológicas locais (Hammond & O'grady, 2017; Mehany & kumar, 2019; Meng, 2017; Pereira, 2016).

Nos processos de realização de *fracking*, geralmente, se faz uso de fluidos compostos de produtos químicos para aumentar a pressão, fragilizar a rocha, desincrustar a tubulação, entre outros, como incremento aos propantes (em geral, areias) e aos 6 milhões de galões de água pressurizada injetados no poço (Mehany & Kumar, 2019; Meng, 2017). Destaca-se, para Hammond & O'Grady (2017), uma necessidade de uso de cerca de 20 milhões de litros de água em um poço de fraturamento. Diante desta demanda hídrica, estes autores questionam o uso correto dos recursos minerais frente à disponibilidade para demanda doméstica, a degradação do ecossistema e os efeitos adversos nos *habitats* aquáticos, além de erosão e mudanças na temperatura da água. Tal observação é ratificada por Pereira (2016) que enfatiza uma possível contaminação ou interferência na demanda de água potável nos centros urbanos, tanto no consumo doméstico quanto na área industrial.

Santos (2013) e Lima & Anjos (2015) corroboram que um dos principais questionamentos referentes à exploração e produção dos gases não-convencionais é o uso do método de fraturamento hidráulico e perfuração direcional, sendo que alguns ambientalistas acreditam que o uso dessas técnicas traga riscos significativos e irreversíveis ao meio ambiente e à saúde humana, devido aos produtos químicos usados no processo, para aumentar a permeabilidade das rochas, fazendo com que a fratura estenda-se além da formação alvo. Dessa forma, o uso de agentes tóxicos pode contaminar algum aquífero e leitos de rios em áreas adjacentes. Para melhor

entendimento desta relação entre o consumo de água e a extração do *shale gas*, se faz necessário esclarecimento acerca do processo de fraturamento hidráulico.

## 2.8. Método do *fracking* ou fraturamento hidráulico para exploração de *shale gas*

As técnicas de extração de extração de hidrocarbonetos em grandes profundidades na placa continental foram desenvolvidas ao longo dos anos com foco em otimizar a produção dos poços por métodos denominados de Convencional e Não-Convencional, Herrera Herbert, 2020.

Segundo Stephenson (2015), o processo conhecido como Método Convencional é realizado pela perfuração vertical, com migração do gás por meio das camadas profundas, porém, mais próximas à superfície, compostas por arenitos e calcários que possuem alta permeabilidade.

Esta migração acontece num estágio denominado recuperação primária, onde os hidrocarbonetos (óleo e/ou gás) fluem sem a ação de complementações necessárias para aumentar as pressões internas do reservatório e a conseqüente indução de saída deles para o poço. Entretanto, complementações podem ser necessárias na recuperação secundária ou terciária, utilizadas quando o poço já foi explorado e perdeu pressão. Nestes últimos estágios, pode-se utilizar da técnica do fraturamento.

Essa técnica, conhecida como fraturamento hidráulico ou *fracking*, foi relatada pela primeira vez nos Estados Unidos, em 1947. Essa tecnologia pode aumentar a produtividade dos poços de petróleo e até dobrar a produtividade dos mesmos (Mouallem *et al.*, 2014).

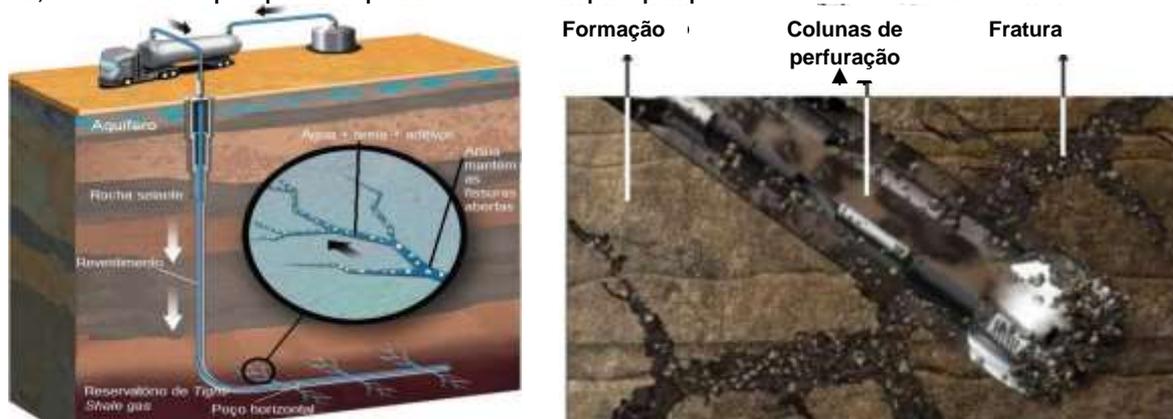
No método não-convencional, a baixa porosidade e permeabilidade entre os espaços vazios de rochas profundas demandam de técnicas processuais que possibilitem a fluidez e a extração do gás, de modo que a produção chegue até a superfície (Soeder, 2018). Neste interim, o método não-convencional consiste, obrigatoriamente, em utilização de tecnologias mais avançadas para migração do gás até os poços, a exemplo do *fracking*, por se tratar de reservatórios com tais

características (Gao & You, 2017; O'Brien & Hipel, 2016; Partridge *et al.*, 2017; Szolucha, 2019).

A técnica de fraturamento hidráulico consiste na injeção de fluido nas camadas de folhelho, os quais causam a expansão e o consequente faturamento da rocha (Huang *et al.*, 2019). Estes materiais fluídicos, segundo a *Shale Gas Information Platform* (SHIP, 2020), são os chamados “*slickwater*” ou fluidos de fraturamento, compostos a base de água, incluindo propantes e aditivos químicos para alcance da viscosidade mais baixa que a da água comum (Ferguson *et al.*, 2020; Thomas *et al.*, 2018).

O processo de fraturamento acontece pela constante injeção de fluido, composto por cerca de 98,50% de água. Vale destacar que, sem a utilização de 1% propantes/agentes de sustentação (areia), a boa permeabilidade dos hidrocarbonetos entre seus grãos e a manutenção da abertura das fendas ocorridas durante o fraturamento estaria sujeita ao risco de fechamento ao passo que o fluido cessasse de ser bombeado conforme pode ser observado na Figura 19 (Fukui *et al.*, 2017; Hammond & O’Grady, 2017; Meng, 2017).

**Figura 19:** Esquema do processo de faturamento hidráulico, para exploração do *shale gas*, com destaque para o preenchimento por propantes nas fissuras



**Fonte:** Adaptado de RASSENFOSS, JACOBS (2016) e Halliburton (2013).

Os propantes desempenham papel importantíssimo, mas não único. Além deles, são utilizados 0,05 a 0,50% de aditivos, com a finalidade de produzir efeitos químicos diversos, focados na melhor produtividade do poço. Para isso, o uso de soluções ácidas é amplamente demandado (Fukui *et al.*, 2017; Hammond & O’Grady, 2017; Meng, 2017).

Para Caenn *et al.* (2011), os fluidos de perfuração são misturas de sólidos, líquidos, aditivos químicos e/ou gases que podem assumir o aspecto de suspensões, emulsões ou dispersões coloidais, consoante o estado físico de seus componentes.

Neste interim, é importante sinalizar a existência e funcionalidade do conjunto de aditivos aos fluidos de perfuração e de fraturamento hidráulico, que a indústria petrolífera já utiliza em diversas fases da extração de hidrocarbonetos da rocha geradora.

## 2.9. Aditivos para fluidos

Os aditivos químicos, inseridos nos fluidos de fraturamento, têm objetivos de desempenhar as mais diversas funções, tais como: adensamento; viscosificantes; dispersantes; defloculantes; agentes utilizados no controle da “perda de fluido”; emulsionantes; biocidas; salmouras; lubrificantes; inibidores de corrosão; liberadores de coluna e controladores de pH (SHIP, 2020).

Atualmente, são utilizados os chamados fluidos sintéticos, atendendo à preocupação ambiental em discussão pela comunidade internacional, incluindo compostos como ésteres, éteres, poliolefinas, glicóis, glicerinas e glicosídeos, formando fluidos de base polimérica de grande importância, porque podem desempenhar as mesmas funções dos fluidos à base de óleo e serem utilizados em situações em que os fluidos à base de água sofrem limitações (Caenn *et al.*, 2011).

Destaca-se que os aditivos obedecem a uma divisão em classes, conforme a utilização e composição química descritos na sequência:

### *Agentes de gelificação e formação de espumas*

Aumentam a viscosidade do fluido de fraturamento, formando um gel, permitindo uma melhor suspensão do propante e seu transporte até às fraturas. São compostos poliméricos de cadeia simples ou reticulados, que interagem quimicamente a um grupo funcional específico para criar grandes moléculas, aumentando ainda mais a viscosidade do fluido. O uso dos formadores de espuma diminui a quantidade de líquido requerida para o fraturamento (Stringfellow *et al.*, 2014).

### *Redutores de atrito*

Tem o papel de gerar um regime laminar no fluxo do fluido. Sua composição química conduz a uma diminuição da tensão superficial, minimizando o atrito do fluido com as demais superfícies de contato dos poços e facilitando sua remoção do interior das formações (Herrera Herbert, 2020b).

### *Compostos reticulados (“Crosslinkers”)*

Na prática, desempenham um papel similar aos agentes gelificantes, formando gel por meio de grandes moléculas. Resultam no aumento da viscosidade do fluido e em uma maior elasticidade, melhorando o transporte do propante, em comparação com os géis que não possuem os *crosslinkers* (Herrera Herbert, 2020b; Stringfellow *et al.*, 2014; Caenn *et al.* 2011).

### *Inibidor de quebra de polímeros (“Breakers”)*

Após a fratura da rocha, uma enzima ou um inibidor de quebra de polímeros é introduzido para reverter a reticulação do fluido, o qual permite a redução da viscosidade dos géis de fluido e permite a remoção dos resíduos dos polímeros da fratura recentemente aberta. Atuam, também, na prevenção da quebra prematura dos polímeros. Caso não fossem adicionados, poderiam impedir o fluxo de gás e reduzir a produção do poço. Podem ser aplicados no início do bombeamento do fluido ou depois das fraturas abertas (Herrera Herbert, 2020b; Stringfellow *et al.*, 2014; Caenn *et al.* 2011).

### *Ajustadores de pH*

O pH ideal depende do tipo e molécula do polímero reticulado utilizado. Tanto os ácidos quanto as bases são adicionados como amortecedores aos fluidos no intuito de garantir a sua efetividade (Herrera Herbert, 2020b; Stringfellow *et al.*, 2014; Caenn *et al.* 2011).

### *Biocidas*

Os biocidas evitam o crescimento de bactérias e outros microrganismos que podem contribuir na degradação dos compostos químicos dos fluidos, contribuindo

para a corrosão das tubulações e equipamentos dos poços (Herrera Herbert, 2020b; Stringfellow et al., 2014; Caenn et al. 2011).

#### *Inibidores de corrosão*

Altamente solúveis e biodegradáveis, em geral, tem a finalidade de proteção da carcaça do poço. Os inibidores de corrosão protegem as tubulações e equipamentos das corrosões advindas do uso de ácidos, sais e gases corrosivos. Estes produtos obedecem a critérios de escolha ligados à temperatura no poço, formação mineral, regime de fluxo e tempo de contato com a superfície. (Herrera Herbert, 2020b; Stringfellow et al., 2014; Caenn et al. 2011).

#### *Inibidores de incrustação*

Estes compostos desempenham o papel de evitar o bloqueio do fluxo na tubulação, ocasionado pela incrustação nas paredes dos tubos e conexões, garantindo continuidade do fluxo e a melhor permeabilidade, além da melhor produtividade do poço (Herrera Herbert, 2020b; Stringfellow et al., 2014; Caenn et al. 2011).

#### *Controladores de ferro*

Durante a produção do poço, a depender da presença de minerais contendo ferro na rocha, pode acontecer a precipitação de íons de ferro, bloqueando os caminhos da formação, reduzindo a permeabilidade da rocha e interferindo também no controle da viscosidade do fluido (Herrera Herbert, 2020b; Stringfellow et al., 2014; Caenn et al. 2011).

#### *Estabilizadores de argila*

Em caso de presença de argilas nas camadas de folhelho, estas podem estar em contato com a água e sofrer inchaço ou expansão do grão, ocasionando na instabilidade da produção do poço por meio de bloqueio da passagem dos hidrocarbonetos. Há registro de redução de até 90% da produtividade do poço, devido à presença de argilas, refletindo em outras ocorrências tais como o estrangulamento do tubo de perfuração no poço. O grau de inchaço depende da salinidade do fluido de fraturamento e das espécies de cátions presentes. O aumento da salinidade

geralmente reduz o inchaço (Herrera Herbert, 2020b; Stringfellow et al., 2014; Caenn et al. 2011).

### Surfactantes

No intuito de emulsificar e gerar tolerância à salinidade, os surfactantes são usados para controlar a viscosidade ótima dos fluidos, reduzindo a tensão superficial entre a formação do folhelho de xisto e o fluido auxiliando, inclusive, na recuperação do fluido depois do processo de fraturamento. Em alguns casos, os surfactantes podem agir também como biocidas ou estabilizadores de argila. Além de atuar como redutores da umidade das interfaces da rocha e aumentarem o escoamento de gás pelas fraturas em formação (Herrera Herbert, 2020b; Stringfellow et al., 2014; Caenn et al. 2011).

A Tabela 2 é um demonstrativo sintético dos possíveis aditivos utilizados no processo de perfuração e fraturamento em poços.

**Tabela 2:** Aditivos utilizados no processo de perfuração e fraturamento para extração de *shale gas*

Classe Aditiva	Objetivo	Exemplos
Biocida	Evitar crescimento de bactérias e outros micro-organismos	Terpenos, isotiazolinonas (por exemplo, 1,2-benzisotiazol-3 (2H)-ona ou 2-metil-4-isotiazolin-3-ona)
Amortecedor	Controle de pH	Ácidos e bases inorgânicas (por exemplos: ácido fluorídrico, bissulfito de amônio)
Redutor de quebra de polímeros	Redução de viscosidade. Recuperação aprimorada dos fluidos	Sulfatos, peróxidos (por exemplo, persulfato de amônio, peróxido de cálcio)
Inibidor de Corrosão	Proteger a carcaça e o equipamento	Ácidos, álcoois, sulfitos (por exemplo: 2-butoxietanol, bissulfeto de amônia)
<i>Crosslinker</i>	Formação de gel, aumentar a viscosidade para transporte adequado de areia o fundo do poço	Boratos, metais de transição em combinação com agentes complexantes (por exemplo: zircônio óxido, sulfato)
Redutor de Fricção	Criar regime laminar do fluido	Poliacrilamida, destilados de petróleo, por exemplo, hidrocarbonetos aromáticos (benzeno, tolueno)

Fonte: SHIP, 2020

**Tabela 2:** Aditivos utilizados no processo de perfuração e fraturamento para extração de *shale gas* (Continuação)

Classe Aditiva	Objetivo	Exemplos
Agente gelificante	Formação de gel, aumentar a viscosidade para transporte adequado de areia o fundo do poço, transporte ideal de propante	Goma de guar hidroxietilcelulose, polímeros (por exemplo: acrilamida-polímeros, vinil-sulfonatos)
Inibidor de escala	Evitar materiais precipitados de escamação de minerais que podem se acumular na parede interna do revestimento ou na cabeça do poço	Ácidos, fosfonatos (por exemplo: dodecilbenzeno, ácido sulfônico, fosfonato de cálcio)
Surfactante	Emulsificação e tolerância de salinidade	Aminas, éteres de glicol, etoxilatos de nonilfenol

Fonte: SHIP, 2020

Com a necessidade de adição destas substâncias químicas ao fluido de fraturamento de base aquosa, que é o mais utilizado, vale uma observação à legislação, ao processo de tratamento e à possibilidade de reuso da água após a sua aplicação no faturamento. Além disso, o posterior tratamento da água utilizada neste processo demanda uma crescente preocupação com relação às questões ambientais previstas nos objetivos do desenvolvimento sustentável, uma vez que estas substâncias podem causar contaminações às águas subterrâneas próximas às regiões de exploração do *shale gas*.

## 2.10. A legislação vinculada à água subterrânea

O processo de extração, tratamento e reuso de águas subterrâneas, no Brasil, obedece a uma série de normas legais estabelecidas em Leis Ordinárias ou em regulamentações de órgãos reguladores e/ou fiscalizadores como a Agência Nacional da Água (ANA, 2021), o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2021), o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2021), entre outros dos vários estados que compõem a Federação Brasileira. Destaca-se a legislação a seguir por sua relação direta com os elementos destacados neste item.

- Lei Estadual da Bahia nº 11.612, de 08 de outubro de 2009 - Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências.

- Lei Federal nº 12.651 - Código Florestal, de 25 de maio de 2012 - Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências
- Decreto nº 24.643 - Código de Águas, de 10 de julho de 1934 – Dispõe sobre uso, propriedade, navegação, penalidades e dá outras providências.
- Decreto-Lei nº 227 - Código de Minas, de 28 de fevereiro de 1967 - Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas). Dispõe sobre lavra, servidão, pesquisa mineral, da garimpagem, fisco e cata, águas subterrâneas e dá outras providências.
- Resolução CNRH nº 15, de 11 de janeiro de 2001, que estabelece diretrizes para a gestão integrada de águas subterrâneas
- Resolução CNRH nº 17, de 29 de maio de 2001, que estabelece diretrizes complementares para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos de bacias hidrográficas.
- Resolução CNRH nº 22/ 2002 – Estabelece diretrizes obrigatórias em para Plano de Recursos Hídricos de bacias hidrográficas em complemento ao previsto na Resolução CNRH nº 17 e na Resolução CNRH nº 15.
- Resolução CONAMA nº 396/ 2008 - Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências
- Resolução CNRH nº 91/ 2008 - Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.
- Resolução CNRH nº 92/ 2008 - Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro.
- Resolução CNRH nº 107/ 2010 – Estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para planejamento, implantação e operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas.

O conhecimento desta legislação é de suma importância, uma vez que mapeia, cria regras e respectivas penalidades, em caso de desobediência, visando a exploração e o manejo. Além disso, estabelece parâmetros para avaliação dos indicadores de qualidade físico-química da água retirada dos aquíferos. Estes parâmetros devem permanecer dentro dos critérios de qualidade, mesmo após o uso

da água em processos de perfuração e operação de poços de petróleo e gás e em caso de seu potencial reuso, aproveitamento ou descarte (Silva, 2020).

No tocante a esta pesquisa, as águas produzidas no processo que envolve a utilização em fluidos de perfuração geram um passivo ambiental significativo, onde a sua complexa composição é influenciada por inúmeros fatores que devem atender à legislação específica para disposição final do rejeito. Essa significância é atribuída em parte ao excessivo volume gerado por cada poço (IBAMA, 2014).

Os questionamentos acerca do passivo ambiental, oriundos dos materiais derivados do processo de perfuração ou de fraturamento da rocha são antigos, consequentes da geração de resíduos combinados aos compostos químicos demandados para inúmeros objetivos de manutenção da segurança e fluidez do poço. Assim, este passivo tóxico não pode ser dispensado e/ou depositado arbitrariamente no meio ambiente, uma vez que geram rigorosos e agressivos prejuízos quando descartados ou tratados de maneira inadequada (IBAMA, 2014).

Ademais, o grande volume de água limpa, gasto na fabricação dos fluidos de perfuração, seja ele aquoso (com 90% de água) ou como emulsão inversa (onde o volume de água pode corresponder a 40-50%) é um problema em relação ao meio ambiente, ocorrendo desde a fase inicial da perfuração devendo, esta água, receber o posterior tratamento adequado para a manutenção da qualidade (*Drilling Fluids Reference Manual*, 2006).

### **2.11. Água produzida no processo de fraturamento hidráulico**

A Petrobras (2019) define, como água produzida, o efluente presente nas formações subterrâneas que chega até a superfície durante a atividade de produção e é um efluente indesejado. Nesta instituição, toda água produzida gerada é monitorada pelas plataformas produtoras de óleo e gás natural em operação.

Segundo Figueiredo (2014), na última década, houve um aumento da quantidade de água produzida e há tendência de constante aumento. O volume gerado de água produzida varia em função das características do reservatório, da tecnologia usada na extração e da taxa de produção de petróleo e gás. Vários fatores influenciam nas

características destas águas. Estas são o resultado de diversos efeitos combinados da composição da água que migra através da formação durante a diagênese e das reações que ocorrem havendo uma grande variação da composição das águas produzidas em virtude das formações, e dos diferentes campos. Além disso, os fluidos de completação e estimulação da produção também influenciam.

Hwang & Sharma (2018), relata que entre os compostos que fazem parte da mistura encontram-se gotículas de óleo na forma de emulsões óleo-em-água que, em decorrência das limitações das instalações locais de tratamento, não podem ser completamente separadas. A água produzida contém emulsões suspensas que na maioria das vezes é reinjetada nas formações. Ocorre que este fluido tende a obstruir os espaços de poros na região próxima do poço ou próxima da fratura, o que resulta em uma tendência de declínio no desempenho dos poços.

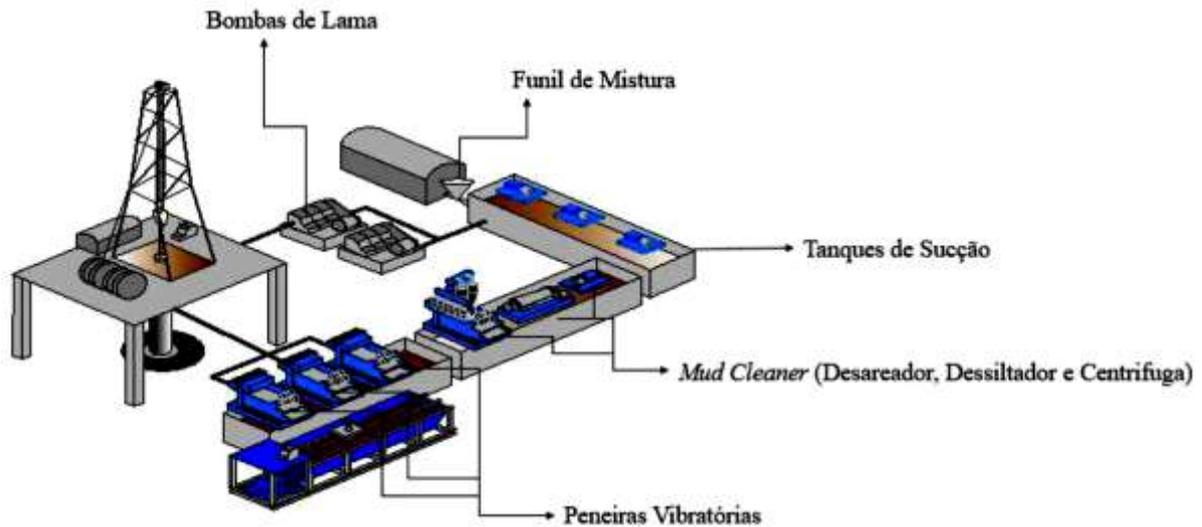
Processos de reabilitação ou neutralização destes declínios requerem utilização técnicas e aditivos químicos que podem ser muito onerosos financeiramente. Vale destacar ainda, que as gotículas de óleo são geradas pelo fluxo residual de alta velocidade que desloca o óleo residual na rocha (Hwang & Sharma, 2018).

Para Cheryan & Rajagopalan (1998) a remoção do óleo é uma das etapas mais importantes e mais difícil no tratamento deste resíduo da indústria petrolífera. Acontece que o óleo existente na água produzida pode ser encontrado em forma livre, disperso, emulsionado e dissolvido, a depender do diâmetro da gota. Ahmadun *et al.*, 2009 reforça que os fatores como a composição do óleo, acidez, a salinidade, os sólidos dissolvidos totais, a temperatura, a razão água/óleo e do tipo e quantidade de produtos químicos no campo de petróleo devem ser monitorados com foco no manejo adequado destas substâncias.

O processo de limpeza para purificação do fluido a ser reinjetado ou descartado obedecem a etapas processuais que passam pelos maquinários destacados na Figura 20. Estas etapas são sequenciadas e vão da passagem por peneiras com foco na retirada de sólidos, seguido de desareação, dessiltador (com o uso de um conjunto de 8 a 12 hidrociclones de 4" a 5"), cuja função é descartar partículas de dimensões equivalentes ao silte ou utiliza-se o *mud cleaner* que é um dessiltador com uma peneira que permite recuperar partículas, injetadas no fluido. Na sequência ocorre a

centrifugação, a fim de se obter o fluido limpo e o descarte de sólidos remanescentes do processo (Caenn *et al.* 2011).

**Figura 20:** Esquema do processo de circulação superficial do fluido de faturamento



Fonte: Adaptado PETROBRAS (2019)

## 2.12. Relação estratigráfica entre aquífero e as fraturas causadas pelo uso do método do *fracking*

Conforme Carneiro (2005), a produção de petróleo em reservatórios de baixa permeabilidade, ditos não-convencionais, é uma realidade há anos, em bacias como a do Recôncavo, em locais como os campos de Riacho Quiricó e Rio Una que têm como reservatórios principais os folhelhos fraturados da Formação Candeias.

O método do *fracking*, embora seja necessário para reservatórios não-convencionais, já foi operado naquela região da Bahia em poços convencionais e não-convencionais. Os números relacionados na Tabela 3, evidenciam a relativa baixa demanda de água, comparando-se aos volumes utilizados que variam entre 20.000 a 30.000m<sup>3</sup>, utilizada nos processos de fraturamento naquela região, frente ao potencial do aquífero e o comportamento das fraturas, que variam entre 3 e 66 metros de alcance, frente à distância entre a formação e a posição das águas subterrâneas (BDEP, 2021).

Ademais, ainda relativo à Tabela 3, vale destacar os valores de pressões empregadas para quebra da formação e as pressões de propagação das aberturas realizadas. Estes números demonstram uma redução das primeiras em relação às

segundas da ordem de 95,58% a 3,89%, demonstrando que, com conhecimento mais profundo da formação do Recôncavo Norte, é possível o controle mais preciso quanto ao uso da tecnologia do *fracking* (ANP, 2012).

**Tabela 3:** Poços operados com uso de faturamento

POÇO	PRESSÃO DE QUEBRA (kgf/cm <sup>2</sup> )	PRESSÃO DE PROPAGAÇÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )	VOLUME DE ÁGUA UTILIZADO (m <sup>3</sup> )	ALTURA DA FRATURA (m)	RESERVATÓRIO
7-AG-424D-BA	113	108	64,35	30	AFLIGIDOS
7-AR-336D-BA	456	202	51,64	15	SEGI 8
7-FI-115D-BA	187	116	22,71	6	SANTIAGO 5
7-FI116D-BA	148	84	22,71	5	CATU 2
7-MGP-99D-BA	151	88	208,18	66	CARUAÇU 4
7-MP-50D-BA	154	6	151,4	35	CARUAÇU
7-RCB-61-BA	288	145	64,96	15	CANDEIAS
7-TQ-206D-BA	111	31	75,7	25	SANTIAGO 3 E 4
8-FBE-65DP-BA	246	176	30,29	3	ITA-C

**Fonte:** Adaptado Nota Técnica ANP (2012)

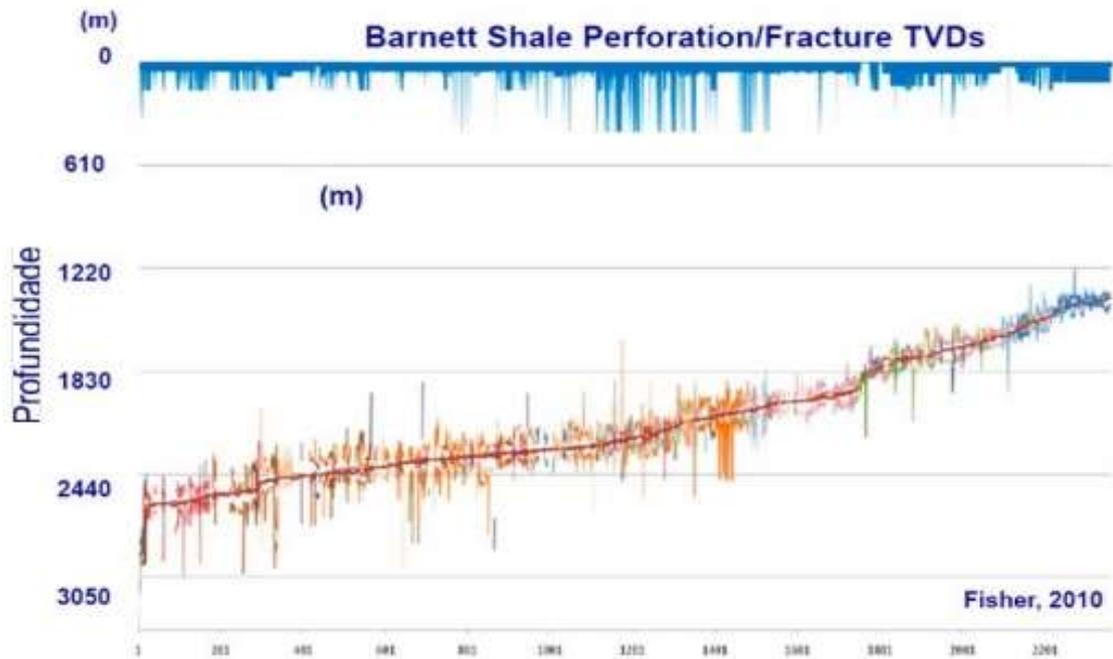
Riccomini *et al.* (2021) diagnosticaram que a propagação de fissuras em bacias como Marcellus, Barnett, Woodford, Eagle Ford e Niobrara, situadas nos EUA, e operadas com o auxílio do fraturamento hidráulico apresentam alcance máximo de ascendente de 588 metros. E, quando o estudo compara dados de fraturas hidráulicas com ocorrência natural a propagação, pode ter alcance 1.106 metros. No geral, a probabilidade de a propagação acontecer verticalmente por mais de 350 metros é de 1% quando provocada e 33% naturalmente.

Em comparativo entre a Figura 21 (referente à bacia de Barnett), a Figura 22 (referente à bacia de Marcellus) e à síntese entre estas bacias e outras áreas Norte Americanas conforme demonstrado na Tabela 4, por meio do sistema internacional de medidas (SI), observa-se que os reservatório de xisto encontram-se em distância superior a 700 m. Comparando-se ainda, com os dados disponíveis do Recôncavo Norte (Tabela 4), nota-se que na região da Bahia, Brasil, há um maior conforto de separação métrica entre ao folhelho e a água subterrânea.

Riccomini *et al.*, (2021) afirma em seu estudo que em relação à propagação de fissuras em poços verticais, ou seja, em fissuras horizontais, a propagação chega até 900 m. Contudo, Moura (2020) mostrou que na área da bacia do Paraná as fraturas hidráulicas naturais podem atingir extensões horizontais superiores a 1,5 km. Assim,

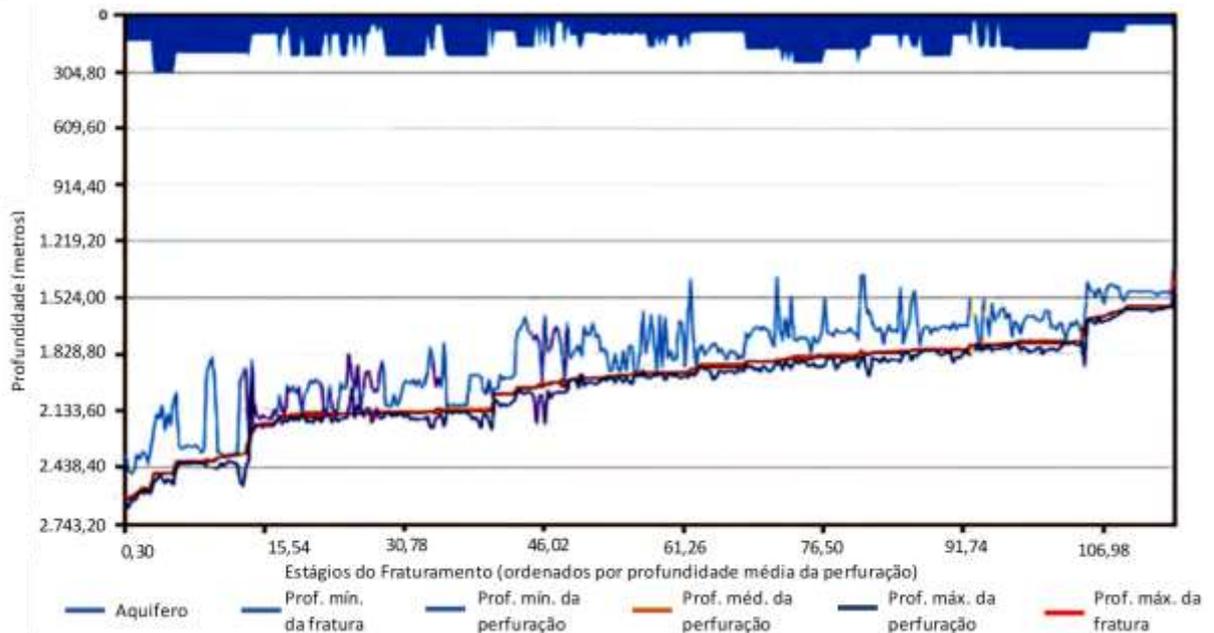
no geral, é importante a análise de distanciamento das estruturas geológicas e hidráulicas com foco em uso e operação baseados em critérios pré-estabelecidos.

**Figura 21:** Alcance das fraturas realizadas formação de Barnett, nos Estados Unidos



Fonte: ANP (2012)

**Figura 22:** Alcance das fraturas realizadas formação de Marcellus, nos Estados Unidos



Fonte: Adaptada de MIT (2011)

**Tabela 4:** Profundidades de aquíferos e folhelhos em bacias Norte Americanas

Bacia	Varição da profundidade até o Xisto (m)	Profundidade até o aquífero (m)
Barnett	1.981,20 - 2.590,80	366
Fayetteville	304,80 - 2.133,60	152
Marcellus	1.219,20 - 2.590,80	259
Woodford	1.828,80 - 3.352,80	122
Haynesville	3.200,40 - 4.114,80	122

Fonte: MIT (2011)

Em relação à bacia do Recôncavo Norte, necessário se faz, elucidar o vasto conhecimento de um histórico regional de trabalho em poços operados desde a décadas de 1939 (Porsani & Helz; 2020), e a ausência de relatos do ponto de vista ambiental, pela comunidade científica. Outrossim, tratam-se de potenciais áreas para expansão de profundidade dos poços, a fim de alcance de folhelhos ainda não explorados e uma continuidade produtiva e revitalização de uma região atualmente diagnosticada em declínio produtivo.

### 2.13. Impactos aos Aquíferos

Os aquíferos, segundo a sua natureza de reservatórios subterrâneos naturais de água, servem para as mais variadas atividades, as quais garantem a coexistência ao meio antrópico, à fauna e à flora. Dentro deste fator, relaciona-se no Quadro 3 a experiência Norte Americana na incidência percentual devido à exploração das águas segundo sua utilização. Vale destacar diante dos dados apresentados que, embora utilize um volume considerável de água, o gás de folhelho demanda menos de 1% deste recurso, com maior destaque para os itens de abastecimento público, indústria/mineração e irrigação. MIT (2011).

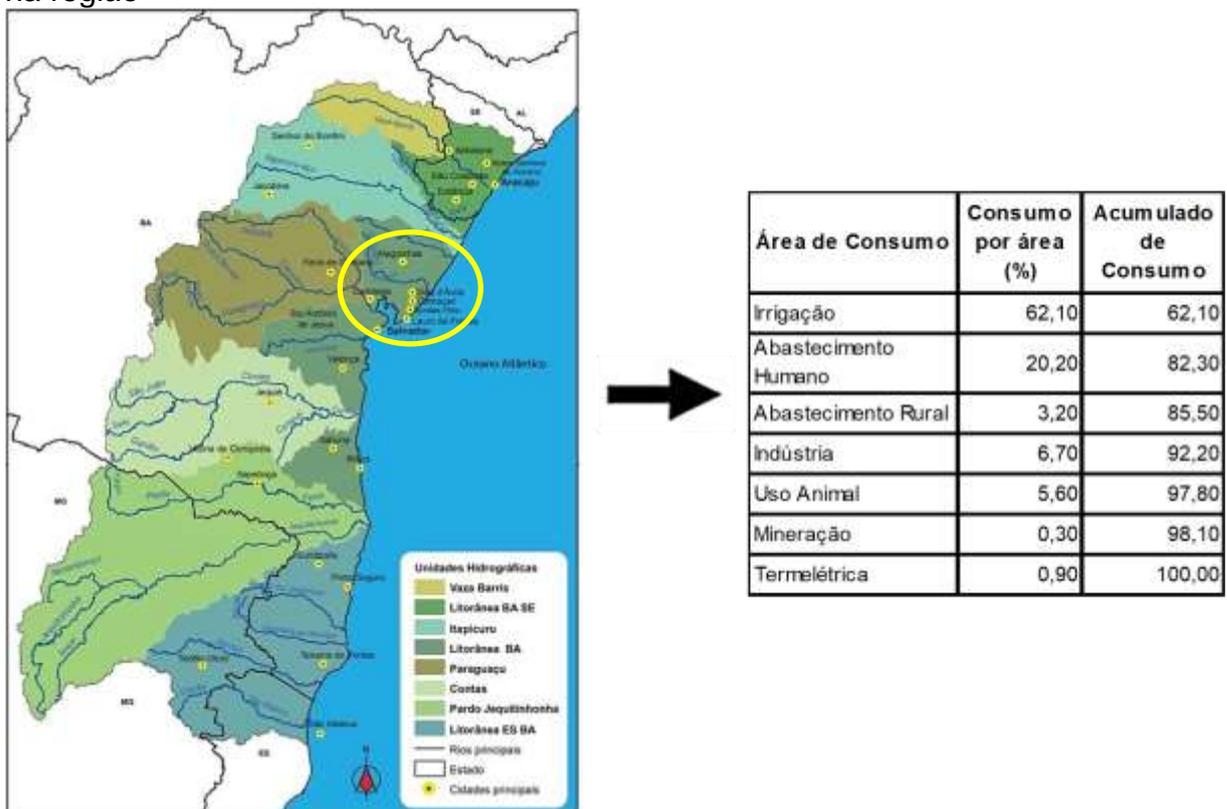
**Quadro 3:** Síntese dos Índices de uso de água subterrânea nos EUA, por atividade

Experiência Americana no consumo de água							
Campo	Estado	Abastecimento Público	Indústria / Mineração	Irrigação	Pecuária	Gás de Folhelho	Água total utilizada (Barris/ano)
Barnett	Texas	82,7%	3,7%	6,3%	2,3%	0,4%	11,1
Fayetteville	Arkansas	2,3%	33,3%	62,9%	0,3%	0,1%	31,9
Haynesville	Louisiana / Texas	45,9%	13,5%	8,5%	4,0%	0,8%	2,1
Marcellus	Nova York / Pensilvânia / Virginia Ocidental	12,0%	71,7%	0,1%	<0,1%	<0,1%	85,0

Fonte: MIT (2011)

A Agência Nacional de Águas (ANA, 2019), estima que os recursos oriundos da Bacia Atlântico Leste - derivada da divisão hídrica adotada pelo órgão para as regiões brasileiras, cuja região geográfica do Recôncavo Norte da Bahia está inserida - são da ordem de 136 m<sup>3</sup>/s, subdivido em percentuais que correspondem a um total de 6,7% para a indústria, 71,9% para a irrigação, abastecimento rural e uso animal (pecuária), e 20,2% para abastecimento humano/doméstico. Os detalhes desta distribuição hídrica na região de estudo estão demonstrados na Figura 23.

**Figura 23:** Localização da Bacia Atlântico Leste e síntese dos índices de uso de água na região



**Fonte:** Adaptado de ANA (2019) e Brasil das Águas (2021)

Verifica-se que, segundo os dados da ANA (2019) a estimativa acumulada do consumo de água na região desta bacia é da ordem de 85,50% para uso em irrigação, abastecimento humano e abastecimento rural. Portanto, é necessária a análise e avaliação dos possíveis impactos ambientais causados pela presença de compostos químicos presentes na operação de fluidos de perfuração e fraturamento, durante a recuperação de hidrocarbonetos oriundos de folhelhos.

### 3. METODOLOGIA

A construção deste estudo ocorreu por meio de revisão integrativa de documentos, focada na utilização de sumarização e traçado do perfil das principais publicações atuais acerca da temática envolvida. Com isso foi possível obter visão ampla das obras publicadas e dos seus resultados, proporcionando uma análise geral das principais pesquisas e revisões. (Pautasso, 2013).

Diante disso, este estudo tratou-se da aplicação da metodologia de uma pesquisa baseada em uma revisão integrativa, constituída por Ganong (1987), como estratégia de estudo de caso enquadrado no método quali-quantitativo, obedecendo a um horizonte temporal focado em publicações mais recentes, dos últimos cinco anos ou no universo histórico geral, quando os descritores impõem limitações de disponibilidade nas bases de dados, visto que se trata da região do Recôncavo Norte Baiano.

O presente trabalho assume o paradigma pós-positivista. Uma vez que o pós-positivismo se baseia em vários métodos como uma maneira de capturar o máximo possível da realidade (Denzin & Lincoln, 2005). Os elementos sequenciais foram definidos em função da questão norteadora e de seu processo de entendimento evolutivo acerca da formação geológica e hídrica do Recôncavo Norte, da definição de critérios de inclusão e exclusão, da seleção da amostragem e dados hídricos de órgãos públicos oficiais, da descrição dos achados, da análise, interpretação e discussão dos resultados, da apresentação da revisão integrativa e da súmula do conhecimento (Ganong, 1987).

Para Creswell (2014), o pós-positivismo reflete uma filosofia determinista, na qual as causas provavelmente determinam os efeitos ou os resultados. Assim, teve-se como questão norteadora: Quais os impactos relacionados ao uso da água no emprego do método de fraturamento hidráulico para exploração de *shale gas* na região do aquífero São Sebastião (BA)? E, para busca de respostas, utilizou-se de fontes secundárias de dados. Consultou-se as bases de dados internacionais *Science Direct*, *Scielo*, e *SciTech*, do Departamento de Energia dos Estados Unidos, no intuito de se obter maior abrangência da pesquisa, além da base de dados Capes Periódicos.

Consoante a prevalência de publicações no idioma universal, o inglês, usou-se dos descritores: *shale gas, fracking e water*, uma vez que os Estados Unidos e China são os países com pesquisas mais avançadas sobre a temática, além de estarem em estágio avançado do sistema de produção de gás de folhelho ou em evolução. Além destes, usou-se os seguintes descritores, em espanhol: *gas de esquisto; fracturamiento hidráulico; agua*. E em português os descritores: *gás de folhelho; fraturamento hidráulico; água*.

Os critérios de inclusão foram utilizados atendendo a conteúdos ligados ao objetivo desta pesquisa, disponíveis na íntegra em meio eletrônico, de livre acesso, nas línguas inglesas, portuguesa e espanhola. A escolha de filtros e conectores se deu conforme disponibilidade da base. Adotou-se como critério de exclusão os artigos cujo tema principal divergia ao proposto neste trabalho, além da exclusão de teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso, citações, artigos duplicados ou que não atendiam aos critérios de inclusão.

A construção textual foi planejada para fins elucidativos sobre todo o contexto situacional, produção e consumo dos elementos vinculados à água e gás de xisto. Assim, este estudo trouxe a origem geológica da formação do Recôncavo Norte Baiano; os principais componentes minerais ligados a esta pesquisa; e a avaliação do manejo destes recursos e seus possíveis impactos. Inclusive o potencial de recomposição do cenário com a extração das matérias primas do aquífero e do folhelho.

O início do trabalho se deu com o levantamento dos dados bibliográficos correspondentes à temática envolvida na pesquisa. Para tanto, utilizou-se de base de dados internacionais e nacionais, a fim de se localizar publicações envolvendo dos descritivos “*Shale Gas*” (gás de folhelho) e Gás de Folhelho. Ato contínuo, buscou-se pela combinação das palavras “*Shale Gas*” e a palavra “*Fracking*” (fraturamento hidráulico) por ser tratar do método de extração do material do folhelho, mais utilizado no mundo. E por fim, após definição do problema de pesquisa, as palavras-chave “*Shale Gas*” e “*Fracking*” e “*Water*” compuseram o filtro de pesquisa das bases internacionais.

Para a base nacional foram utilizadas as palavras Gás de Folhelho + *Fracking*. Quadro 4. Número de artigos encontrados Bases Internacionais e/ou Base Nacional para o período de 2016 a 2022, Quadro 5 – Total Palavras-chave *Science Direct; Web of Science*; Periódico Capes: *Shale Gas* – 23.662 resultados. *Shale Gas + Fracking* - 1.440 resultados. *Shale Gas + Fracking + Water* 1.205 resultados. Gás de Folhelho – 18 resultados. Gás de Folhelho + *Fracking* – 0 – resultado.

**Quadro 4:** Número de artigos em língua portuguesa, incluídos neste estudo, provenientes da base de dados *Science Direct Web*

	<b>Palavras-chave</b>
Ano de Publicação	<i>gas de folhelho</i>
2021	1
2020	4
2019	6
2018	3
2017	3
2016	1
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>

**Fonte:** Próprio autor (2021)

Os números do Quadro 5 demonstram o empenho da comunidade científica no estudo da temática, com destaque para o forte incremento ocorrido no ano de 2020 e, praticamente, mantido no ano de 2021 que, apenas em meados do ano, já conta com um número considerável de publicações de pesquisas e revisões mesmo com o advento da pandemia.

**Quadro 5:** Número de artigos em língua inglesa, incluídos neste estudo, provenientes da base de dados *Science Direct Web*

Ano de Publicação	Palavras-chave		
	<i>shale gas</i>	<i>shale gas + fracking</i>	<i>shale gas + fracking + water</i>
2022	5	2	2
2021	3.357	169	143
2020	4.723	237	188
2019	4.313	228	191
2018	3.961	271	234
2017	3.905	310	260
2016	3.398	223	187
<b>TOTAL</b>	<b>23.662</b>	<b>1.440</b>	<b>1.205</b>

Fonte: Próprio autor (2021)

As palavras-chave foram escolhidas por meio da equação *booleana*: "*Shale Gas*" AND "*Fracking*" AND "*Water*". Identificou-se 143 artigos nas bases internacionais pesquisadas em 2021 - *Science Direct Web*, incrementados por outras publicações de sites de busca e bases relevantes localizados no sitio *Google Scholar*, e nas bases: *Molecular Diversity Preservation International (MDPI)*, *Scielo* e *Springer*.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Impactos Econômicos

Os aspectos relacionados às alterações socioeconômicas em decorrência da presença de atividades de exploração e produção de óleo e gás estão presentes na região do Recôncavo Norte Baiano desde a década de 1940, quando se descobriu o primeiro poço de petróleo na região do bairro do Lobato na Capital – Salvador. Desde então, o Estado da Bahia e o Brasil passam por transformações na área energética (ANP, 2014).

Este processo de avanço produtivo, confirma-se pela existência dos mais de 6.400 poços classificados como em produção ou inativos no Recôncavo, fato que fomentou a economia dos mais de 40 municípios situados nesta região geográfica (Porsani & Holz, 2021). Destaca-se neste interim, o crescimento e concentração populacional de mais de 4 milhões de pessoas, além da implantação de um pólo petroquímico, no município de Camaçari (IBGE, 2010).

Nos anos atuais, apesar do processo de declínio produtivo de extração primária, ainda há reservas de hidrocarbonetos a serem exploradas. Este incremento na indústria do gás de folhelho tende a reativar a curva produtiva, ascendendo a economia regional e gerando empregos e rendas oriundas de *royalties* pagos aos proprietários dos imóveis onde estão situados os poços.

Vale destacar também que os resultados econômicos da extração do gás de folhelho, no Recôncavo, ocorreriam de maneira mais veloz que em outras regiões, pelo simples fato de que toda a infraestrutura logística está previamente implantada, em decorrência dos anos de atividades de extração em poços convencionais, facilitando ampliação ou adequação caso necessário. Aliados ao fato de, também, já existirem poços operados com uso da tecnologia necessária para poços em reservatórios de baixíssimas porosidade e permeabilidade.

Vale destacar que a geração de empregos neste período de pandemia seria outro motor de inversão socioeconômico da indústria petrolífera, visto que o setor emprega mais de dois milhões de trabalhadores no Brasil, nos seus processos de

produção e refino e que, para cada emprego nas etapas da cadeia produtiva petrolífera, estima-se haver a geração de 4 empregos indiretos nos setores que dão suporte e insumos necessários para as atividades.

#### 4.2. Impactos Ambientais

Destaca-se que a magnitude e extensão dos impactos ambientais podem variar, uma vez que dependem de todo o contexto onde a atividade está inserida, considerando-se a natureza e sensibilidade do meio circunvizinho, o tempo de exposição aos fatores que agredem o meio ambiente, o tamanho e complexidade dos projetos, as medidas adotadas para prevenir a poluição e as técnicas de atenuação e controle dos seus efeitos.

No Recôncavo, para atribuir um grau de significância aos impactos ambientais, é importante sinalizar que a biodiversidade local, a localização de *habitat* e os recursos sensíveis como fauna e flora, bem como a utilização das águas na região para outros fins, tais como o consumo humano, a pesca ou uso comercial/industrial, estão submetidas ao processo de extração, armazenamento, carga e transporte tanto de hidrocarbonetos como de aditivos químicos, há décadas.

Portanto, atualmente, há a minimização de impactos ambientais decorrentes do desmatamento, destruição de ecossistemas, contaminação química do solo e de corpos hídricos, incluindo alterações na potabilidade de aquíferos, restrições à movimentação de fauna silvestre, riscos à saúde e segurança da vizinhança da área de atividade e até mesmo, deslocamento de comunidades tradicionais, uma vez que a boa parte da infraestrutura necessária para o emprego do método de exploração de gás não-convencional, na região, já poderiam estar implantados.

Vale destacar que, mesmo com a operação e uso das águas dos aquíferos no Recôncavo, seja por meio da indústria de bebidas (que está fortemente presente nos municípios de Dias D'Ávila e Alagoinhas), seja por meio das concessionárias Municipais ou Estadual (operadoras dos sistemas de abastecimento de água e coleta e tratamento de esgotos), não há registro de publicações nos últimos anos acerca de

contaminantes químicos específicos e oriundos do uso do *fracking* em poços da região.

Além disso, a predominância da existência de poços que já foram explorados, outros em situação de injeção de água ou em produção, dentre outras classificações operacionais, aliadas às características estratigráficas geológicas regionais, denunciaria a infiltração dos componentes presentes no fluido hidráulico para os aquíferos durante os ensaios laboratoriais. Todavia, há um contrassenso para esta alusiva, pois, em obediência aos parâmetros químicos legais no Brasil, os testes realizados pelos diversos órgãos operacionais ou fiscalizadores não trazem restrições para consumo das águas dos aquíferos por presença de contaminantes oriundos do *fracking*, em decorrência da ausência ou simplesmente decorrentes da não previsão das substâncias elencadas na Tabela 2.

As etapas mapeadas no ciclo da água trazem consigo um importante marco de ligação de impacto ambiental ao aquífero, por meio do processo de lixiviação ou infiltração de compostos químicos perdidos nas superfícies do solo local por vazamento durante manuseio, carga, transporte e/ou tratamento de águas residuais (Rocha *et al.*, 2015)

Destaca-se que os impactos nos recursos hídricos, principalmente por ocorrência de vazamentos diversos, poderiam não ser notificados, tampouco caracterizados em virtude da ausência de mecanismos de normativos legais de controle, que enfrentem as questões e os riscos específicos desta atividade. Tais mecanismos de controle devem ser definidos pelas esferas públicas administrativas competentes, por meio de órgãos federais ou os órgãos estaduais de controle ambiental, e até mesmo pelos órgãos municípios.

Com referência ao histórico local, Porsani & Holz (2021) relatam que a Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras), desde 1939, e durante seu período de exclusividade de exploração, descobriu campos importantes como Buracica, Miranga, Araçás, Taquipe, Fazenda Imbé, Fazenda Alvorada, Rio do Bu, Fazenda Bálsamo e Riacho da Barra, todos situados na zona de influência dos aquíferos São Sebastião e Marizal. No total, foram perfurados mais de 6.400 poços e, atualmente, existem ali cerca de 1.700 poços em produção. A poligonal em questão é detentora de infraestrutura implantada ao

longo das décadas, diminuindo a necessidade de desmatamento, implantação de estradas de acesso ou de canalizações demandadas.

Em contraponto, para Benavides & Diwekar (2015), outros elementos ambientais como o descarte da água utilizada nos fluidos com aditivos tóxicos, provenientes do retorno do fraturamento da rocha ou de falhas na cimentação de paredes dos poços, devem ser analisados. Desta forma, mesmo que a água residual de retorno seja recuperada, armazenada e descartada, pesquisadores descobriram que, nesta água, os níveis médios de concentrações de cloreto são mais altos a jusante das estações de tratamento de águas residuais, onde a água utilizada no processo de fraturamento é processada (Delgado *et al.*, 2016; Meng, 2017).

Hammond & O'Grady (2017), em suas pesquisas referentes aos fluidos utilizados no processo de extração de *shale gas*, sugerem que cerca de 40% a 80% dos fluidos de fraturamento injetados podem ser devolvidos à superfície como água de retorno. Destarte que, essa água produzida contaminada também apresenta um risco potencial para as águas subterrâneas, uma vez que no caso de erro humano ou falha do equipamento, pode ocorrer o vazamento e infiltrar-se em águas subterrâneas.

Na hipótese de reinjeção no subsolo ou tratamento para descarte, Gao & You (2017) relatam que as águas residuais restantes demandam cuidados, uma vez que seu manuseio e descarte inadequados são reconhecidamente as principais causas de contaminação dos aquíferos. Delgado *et al.* (2016) reforçam que qualquer potencial de risco de vazamento pode causar danos significativos à saúde humana e ao meio ambiente.

Os métodos de operação em poços de petróleo e gás requerem atenção e cuidados técnicos para injeção ou recuperação da água de retorno. Isso se dá devido a elementos tais como a má cimentação das paredes que pode ocasionar a possibilidade de movimentação hidráulica da água proveniente da formação por meio dos espaços vazios entre a formação e o revestimento do poço até o topo, ou ainda, a água de retorno pode infiltrar para a área interna do poço por meios dos poros no revestimento, gerando passivo hidráulico contaminado por substâncias derivadas dos hidrocarbonetos ou aditivos, conforme impactos elencados no Quadro 6.

**Quadro 6:** Síntese dos possíveis impactos inerentes ao fraturamento hidráulico ao meio físico

Possíveis Impactos	Fator Gerador
Uso predatória da água	Água retirada da formação
	Impossibilidade de reciclar uma fração da água
Contaminação da água	Falha de estanqueidade do revestimento do poço
	Falha de estanqueidade de cimentação do poço
	Migração acidental de fluido por meio de fraturas induzidas que interliguem a formação alvo e o aquífero
	Migração acidental de fluidos por meio de sismos ou fraturas naturais
	Migração e mistura de água com o gás por fuga entre as paredes da formação e do revestimento
	Migração acidental do desgaste de poço inativo para poço produtor
	Possível acidente na estocagem de água de retorno (água produzida) e tratamento
Contaminação do solo por produtos químicos	Acidente com carga e transporte de produtos químicos
	Infiltração por possível acidente na estocagem ou manuseio de aditivos químicos

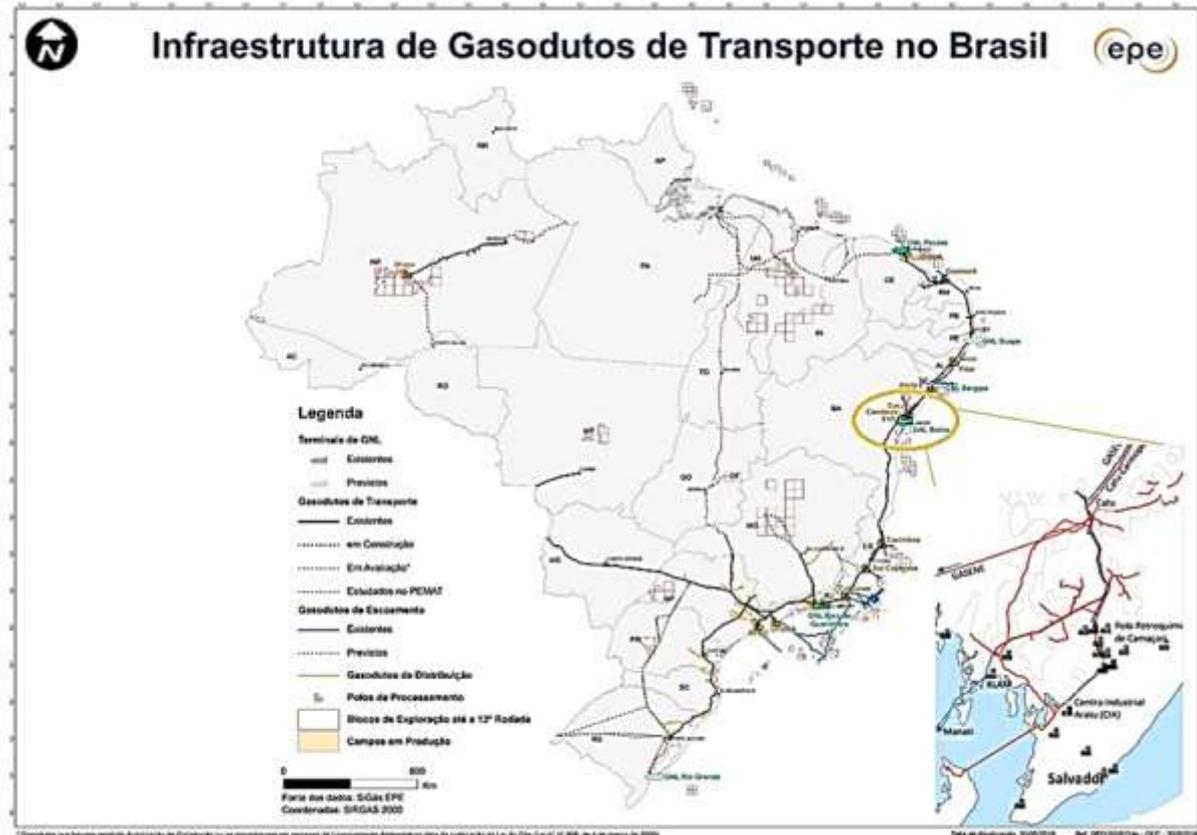
Fonte: Adaptado de Silva *et al.*, (2017)

Neste interim, Silva *et al.* (2017) relatam que além da possibilidade de riscos relacionados aos poços ativos, existe ainda o risco de migração do fluido de fraturamento de um poço abandonado, cuja cimentação e revestimento foram feitos há muito tempo e apresentam maior porosidade das paredes, comprometendo a concisão de estanqueidade originais.

Desta forma, a necessidade de avaliação dos impactos relativos à água subterrânea, na Bacia do Recôncavo, urge de testes com base nos parâmetros químicos aceitáveis ao meio ambiente, oriundos das substâncias presentes no uso do fraturamento hidráulico para ratificar a inexistência ou o comprometimento de toda a cadeia produtiva e de consumos destas águas pela possibilidade da presença de substâncias tóxicas nestes efluentes (Benavides & Diwekar, 2015).

Em relação à infraestrutura (Figura 24), os impactos ambientais podem ser minimizados em decorrência da existência de uma extensa rede de gasodutos, interligando os campos de produção da região do Recôncavo aos terminais de estocagem de petróleo e às Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN), onde estes são processados.

**Figura 24:** Mapas da Infraestrutura de gasodutos de transporte no Brasil, destaque Recôncavo



**Fonte:** Adaptado de EPE (2016)

Vale reforçar que, em virtude da ausência de parâmetros qualificadores de contaminantes oriundos dos aditivos para fluidos de perfuração e fraturamento, na região dos aquíferos localizados no Recôncavo Norte Baiano, considerando ainda, a configuração e presença de inúmeras fraturas decorrentes de *Riftes* nesta área, urge a abertura de diálogos entre os órgãos responsáveis pelas questões ambientais e hídricas, em nível nacional, com foco no estabelecimento de uma discussão qualificada sobre quais ações seriam tomadas pelo setor da saúde diante dos riscos que não se limitam ao campo ambiental, como também a proteção da qualidade da água para o consumo humano.

Assim, deve-se analisar os dados e impactos decorrentes das atividades já realizadas no Recôncavo, servindo de parâmetros para abertura e controle dos recursos não convencionais presentes na geologia regional.

Reafirma-se que o processo de extração de *shale gas* demanda de manejo da água produzida, etapa importantíssima para subsidiar a avaliação do roteiro produtivo destes hidrocarbonetos.

#### 4.3. Balanço Hídrico - Consumo e Recuperação

A região de estudo está configurada em parcelas conformadas por diversos tipos de solos que comportam depósitos de águas subterrâneas, conforme demonstrado na Figura 14. Estas características imprimem comportamentos hidráulicos diversos, em acordo com as informações da Tabela 5 que reforçam as suas capacidades produtivas. Outrossim, é importante complementar que estas capacidades variam de muito baixa a muito alta, com concentração desta última na microrregião onde se situam os campos de Miranga e Buracica.

**Tabela 5:** Poços em aquíferos do Recôncavo Norte Baiano por produtividade

POTENCIAL	PRODUTIVIDADE	
	VAZÃO HORÁRIA*	ANUAL
Muito Baixa	< 3m <sup>3</sup> /h	< 26.280m <sup>3</sup>
Média	entre 10m <sup>3</sup> /h e 40m <sup>3</sup> /h	entre 87.600m <sup>3</sup> e 350.400m <sup>3</sup>
Alta	entre 40m <sup>3</sup> /h e 100m <sup>3</sup> /h	entre 350.400m <sup>3</sup> e 876.000m <sup>3</sup>
Muito Alta	> 100m <sup>3</sup> /h	> 876.000m <sup>3</sup>

Fonte: Próprio autor (2021)

É importante também, sinalizar a relação pluviométrica média anual com a capacidade de recomposição dos reservatórios subterrâneos de água que chegam a registrar de acordo com os dados da Tabela 6, um índice que varia de 1.000 a 2.000 milímetros de precipitação. Esta informação, quando submetida à taxa de infiltração para formações porosas que varia de 40 a 50%, como é o caso de boa parte do solo da região, fornece um indicativo de recuperação hídrica da ordem de 4,6 bilhões de m<sup>3</sup>, podendo alcançar um valor de até 11,5 bilhões de m<sup>3</sup> para uma área de 11.500km<sup>2</sup>.

**Tabela 6:** Relação da pluviosidade com a recuperação hídrica na Região Recôncavo Norte Baiano por produtividade

Pluviosidade média anual Recôncavo Norte Baiano	Taxa de infiltração		Área do Recôncavo Norte	Água recuperada / infiltrada (m³/m²)
	(%)	(mm) anuais		
1.000 mm a 2.000 mm anuais	40 a 50	400 a 1000	11.500 Km² ou 11.500.000.000 m²	4.600.000.000 a 11.500.000.000

Considerando que 1mm equivale a  $10^{-3}$  m³/m² (metro cúbico por metro quadrado)

Fonte: Próprio autor (2021)

Neste interim, é necessário ainda, contabilizar a estimativa anual de água retirada dos aquíferos regionais do Recôncavo Norte que, consoante o tipo de consumidor e atividade de emprego da água subterrânea, a Tabela 7, traz a contabilização, segundo dados contidos neste estudo, os quais demonstram um consumo geral de 1,690 bilhões de m³ de água dos aquíferos, anualmente. Vale destacar que este indicativo já contabiliza a incidência da atividade de fraturamento hidráulico, com uma perspectiva de atividade em mil poços.

**Tabela 7:** Relação de gasto de água dos aquíferos do Recôncavo Norte Baiano por área de consumo

ESTIMATIVA ANUAL DE ÁGUA RETIRADA DOS AQUÍFEROS NO BRASIL			GASTO COM FRANKING (m³)		TOTAL (m³)
TIPO DE CONSUMIDOR	TAXA (%)	CONSUMO (m³)	UNITÁRIO*	EM MIL POÇOS	
Abastecimento doméstico	30	498.000.000			498.000.000
Agropecuário	24	398.400.000			398.400.000
Abastecimento público urbano	18	298.800.000			298.800.000
Abastecimento múltiplo	14	232.400.000			232.400.000
Industrial	10	166.000.000	30.000	30.000.000	196.000.000
Lazer e outros	4	66.400.000			66.400.000
<b>TOTAIS</b>	<b>100</b>	<b>1.660.000.000</b>	<b>30.000</b>	<b>30.000.000</b>	<b>1.690.000.000</b>

\*Considerando o maior volume demonstrado neste trabalho

Fonte: Próprio autor (2021)

Diante destas projeções, é importante ressaltar que a potencial recuperação de 4,6 bilhões de m³, frente a um consumo de 1,690 bilhões de m³ utilizados demonstram a segurança hídrica para a utilização das águas. Contudo, frente as peculiaridades da posição e característica da formação geológica no local de realização da atividade de recuperação de *shale gas*, deve-se realizar aferições pontuais com foco de preservar a população do entorno de possível rebaixamento do nível freático decorrente da extração de água e da conjuntura climáticas de escassez decorrentes de fenômenos tais como *la nina* e *el ninho*.

#### 4.4. Água Produzida

A temática que envolve a água produzida é reflexo de tudo que está descrito nesta pesquisa. Todavia, a complexidade do grande volume gerado associado à composição química e a falta de conhecimento acerca dos parâmetros adequados e efeitos ecológicos de longo prazo do descarte de água de produção, torna-se um dos aspectos ambientais mais relevantes de toda indústria petrolífera, atualmente (Bakke *et al.* 2013; Dowdall & Lepland, 2012).

A necessidade de armazenamento de todo efluente produzido, o transporte e a destinação dos resíduos químicos gerados em conjunto à água produzida são pauta de discussões na comunidade internacional, seja decorrente de possíveis acidentes operacionais, seja pela reinjeção da água tratada, seja pelo descarte nos mananciais deste material. O fato é que a clareza ou transparência na demonstração dos resultados deste processo ainda são limitados ou incipientes, trazendo à tona toda a discussão presente e restritiva no Brasil, atualmente.

Vale reafirmar que o volume de água demandado na indústria petroquímica, quando comparado a outras atividades econômicas, conforme dados da ANA (2019), demonstrados na Figura 23, é de grande relevância por toda conjuntura que envolve a temática.

Em algumas situações de descarte de efluentes, os impactos ambientais relacionados podem ser considerados irreversíveis e permanentes quando são realizados por atividades longas e contínuas. Isso pode ocorrer quando estas ações operacionais se repetirem constantemente, expondo o meio ambiente ao contato com os agentes químicos contaminantes.

Neste caso, é de extrema necessidade avaliar a configuração dos hidrocarbonetos explorados e da formação de origem, com foco na adoção de medidas de controle processual durante o manejo do efluente hidráulico demandado para produção de *shale gas*.

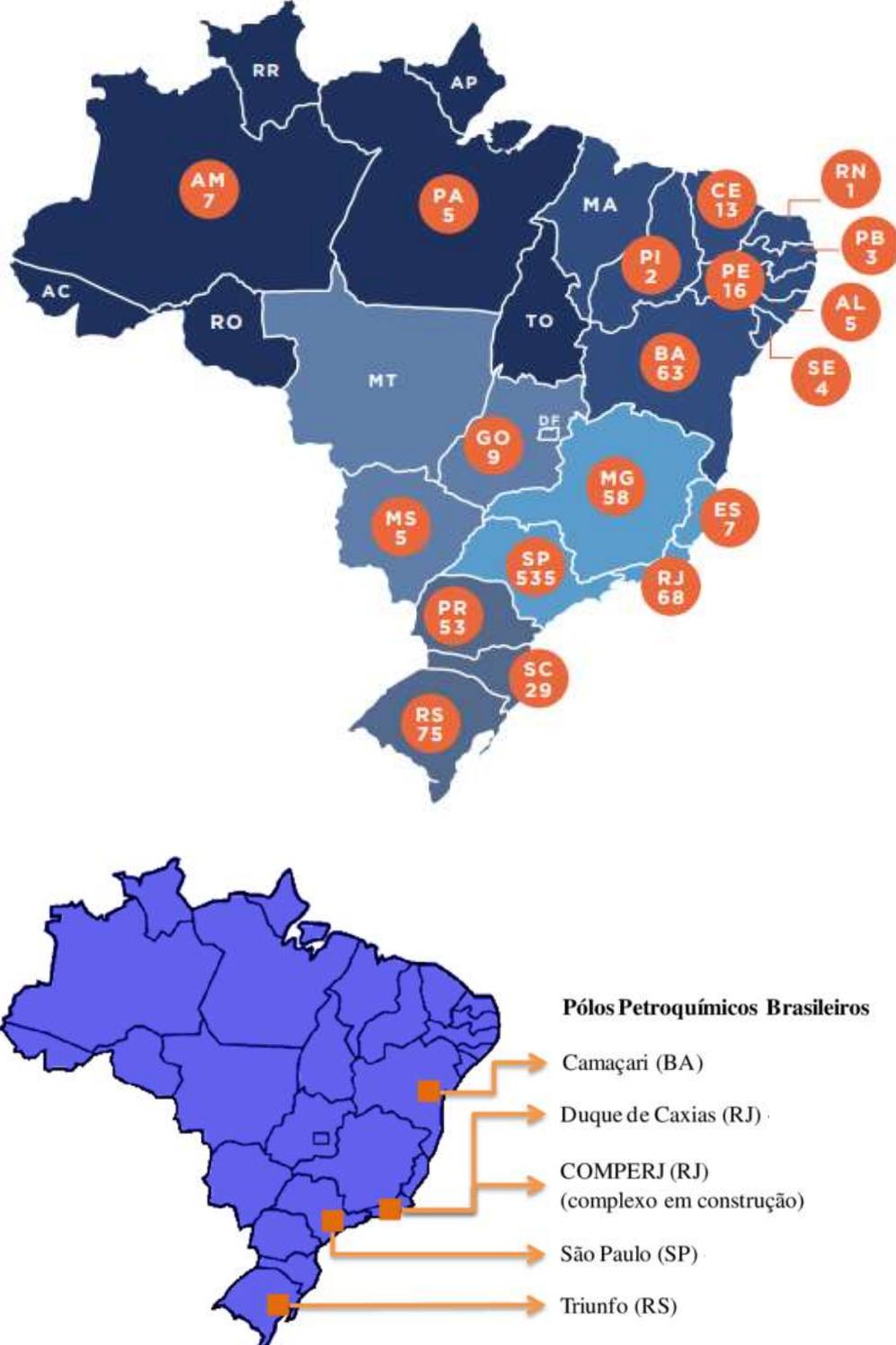
#### 4.5. Disponibilidade e logística de distribuição dos aditivos químicos

No tocante à logística para o uso da técnica de fraturamento hidráulico, no Recôncavo Baiano, é importante ressaltar que a malha viária existente requer a manutenção destinada a garantir a geração de conforto de tráfego, bem como a segurança para as cargas de insumos químicos transportadas, o que, em caso de condições desfavoráveis, pode incorrer em riscos de acidentes ambientais com chance de contaminação de solo e águas superficiais.

Deste modo, o setor produtivo operacional de gás de folhelho deve prever que, para operar com uso de fluidos de perfuração e/ou de fraturamento, a melhor alternativa de rotas de acesso até o poço dependerá da localização dos fornecedores dos aditivos químicos. Em muitas situações, há empresas do setor químico instaladas no Recôncavo da Bahia. Todavia, vale destacar que em algumas situações específicas de disponibilidade e entrega de suas cargas, este percurso pode variar de alguns quilômetros a centenas deles, demandando da engenharia de tráfego medidas de controle e fluidez para minimização dos possíveis custos ambientais e financeiros.

Diante deste cenário nacional, acerca da disponibilidade de fabricantes e fornecedores de aditivos químicos, conforme distribuição na Figura 25, ressalta-se por meio da Tabela 5 uma relação destes potenciais fornecedores, situados em diversas partes do país, acrescido de outros internacionais e que podem servir de parâmetros para avaliação de logística de aquisição, carga, transporte e manuseio pela indústria do gás de folhelho no Recôncavo Baiano e/ou em outras regiões do Brasil. Ainda é possível observar, por meio da Figura 25, a concentração de empresas mais próximas dos pólos petroquímicos existentes e em atuação no Brasil, até o ano de 2020, totalizando 961 segundo dados da ABIQUIM (2020). Este avanço gera oportunidade de oferta dos compostos necessários para a viabilização e manejo do gás de folhelho.

**Figura 25:** Mapas de concentração da Indústria Química e localização dos principais pólos petroquímicos, no Brasil



Fonte: Adaptado de ABIQUIM (2020) e de Rezende (2012)

**Tabela 8:** Fornecedores de produtos químicos na região do Recôncavo Norte da Bahia e outras regiões do Brasil

Classe Aditiva	Exemplos	Fornecedores na Bahia		Fornecedores no Brasil		
		Empresa	Cidade	Empresa	Cidade	Estado
Biocida	Terpenos	Unigel Agro Bahia	Camaçari	DIPA Química	Curitiba	PR
				Bandeirante Brazmo	São Paulo	SP
	Isotiazolinonas			Mercosul Agroquímica LTDA	Ribeirão Preto	SP
Amortecedor	Ácido fluorídrico			Usiquímica do Brasil Ltda	Guarulhos	SP
	Bissufito de amonio	Oxiten	Camaçari	Newchem	Guarulhos	SP
Disjuntor	Peróxido de cálcio	Peroxy Bahhia	Camaçari	PeroxyChem	São Paulo	SP
	Persulfato de amônio	Oxiten	Camaçari	Unigel	São Paulo	SP
Inibidor de corrosão	2-butoxietanol	Inopetro do Brasil LTDA	Simões Filho	Art Aratrop Industrial	Jardinópolis	SP
	Bissufito de amônio	Oxiten	Camaçari	Amonex	Jandira	SP
Crosslinker	Zircônio óxido			Mercosul Agroquímica LTDA	Ribeirão Preto	SP
	Sulfato	Inopetro do Brasil LTDA	Simões Filho	Oxygen química	Itapevi	SP
Redutor de fricção	Benzeno	Braskem	Camaçari	Braskem	ABC	SP
				Braskem	ABC	SP
	Tolueno	DETEN Química S.A	Camaçari	Bandeirante Brazmo	São Paulo	SP
Agente gelificante	Goma de guar			SOLINT QUÍMICA	Guarulhos	SP
				Atias Química	São Paulo	SP
	Acrilamida-polímeros			Nicrom - Qualidade em Química	Santana do Parnaíba	SP
	Vinil-sulfonatos	Dow Brasil	Simões Filho	Nicrom - Qualidade em Química	Santana do Parnaíba	SP

**Tabela 9:** Fornecedores de produtos químicos na região do Recôncavo Norte da Bahia e outras regiões do Brasil (continuação)

Classe Aditiva	Exemplos	Fornecedores Bahia		Fornecedores Brasil		
		Empresa	Cidade	Empresa	Cidade	Estado
Inibidor de escala	Dodecilbenzeno - ácido sulfônico	BASF	Camaçari	Bandeirante Brazmo	São Paulo	SP
	Dodecilbenzeno - ácido sulfônico	Moraes de Castro Produtos Químicos	Salvador	Mercosul Agroquímica LTDA	Ribeirão Preto	SP
	Fosfonato de cálcio	Moraes de Castro Produtos Químicos	Salvador	Mercosul Agroquímica LTDA	Ribeirão Preto	SP
Surfactante	Aminas	Dow Brasil	Simões Filho	DIPA QUÍMICA	Curitiba	PR
	Éteres de glicol	Braskem	Camaçari	Braskem	ABC	SP
	Nonilfenol etoxilado	Moraes de Castro Produtos Químicos	Salvador	AVANZI QUÍMICA	Vargem Grande Paulista	SP

É perspicaz destacar que alguns aditivos químicos são encontrados próximos ao Recôncavo Baiano. Contudo, quando se trata de substâncias como o ácido fluorídrico, sua aquisição para a utilização na região foco deste estudo, demanda dias para entrega, uma vez há poucos fornecedores no Brasil. Desta forma é necessária a atração de empresas químicas com atenção ao atendimento das demandas petroquímicas, com foco na qualidade, agilidade, logística, custo e transporte na aquisição dos materiais.

Há ainda outras substâncias que estão disponíveis apenas por fornecedores internacionais, conforme relação elencada na Tabela 5. Assim, tal situação logística demanda avaliação do custeio para viabilização do processo produtivo, uma vez que pode onerar bastante o gás produzido quando comparado ao custo de importação deste hidrocarboneto de países vizinhos ao Brasil.

Outro fato a ser considerado no quesito ambiental é a fabricação e armazenamento do fluido de faturamento, que se dá em campo. Neste caso, o nível

de incertezas naturais provenientes das características comportamentais do reservatório, decorrentes de pressão, temperatura, tipo de solo, pode demandar de variadas composições em volta da área de trabalho, frente à necessidade de tratamento, reuso ou descarte do fluido utilizado, pois levaria à estocagem de grande quantidade de água.

Desta forma, faz-se necessária a análise individual de cada uma dessas etapas por meio de ensaios laboratoriais de aferição e seu potencial impacto na redução da disponibilidade de água potável, do derramamento de fluídos de fracking com substancias contaminantes tais como: xileno, tolueno, ácido fluorídrico, sais de bário, de crômio, de chumbo e mercúrio elementar; da efetividade do revestimento dos poços, do fraturamento feito diretamente em recursos hídricos potáveis subterrâneos, da migração superficial de contaminantes líquidos ou subterrânea de líquidos e gases, do descarte inapropriado de fluído de com aditivos.

## 5. CONCLUSÃO

Inferese que há diversos pontos positivos gerados pela existência de infraestrutura, e quanto ao conhecimento prévio da geologia da região, objeto deste estudo para a implantação da exploração de *shale gas*. Contudo, as incertezas por falta de parâmetros químicos normatizados - das substâncias utilizadas para perfuração e fraturamento hidráulico - que norteiem as análises laboratoriais e estabeleçam diretrizes ambientais para o descarte ou reuso de águas tratadas oriundas daquele processo, são gargalos que precisam ser resolvidos pelo poder público por meio de suas entidades representativas.

Trata-se de uma região fomentada industrialmente pelas águas subterrâneas dos seus aquíferos, com boas perspectivas econômicas na geração de empregos e renda, no que diz respeito à exploração de *shale gas*. A região conta com uma infraestrutura existente da exploração de poços convencionais e com a logística de fornecedores de insumos químicos para a prática do fraturamento hidráulico.

A recuperação de hidrocarbonetos localizados em áreas de baixa permeabilidade no Recôncavo Norte Baiano, já é uma realidade no método convencional. Todavia, a implementação da tecnologia de fraturamento hidráulico, assim como no método convencional, demanda do uso de técnicas que envolvem uso de produtos químicos que podem migrar para o aquífero livre durante o seu manuseio, perfuração de poços, fraturamento, tratamento da água ou até durante a carga e transporte destas substâncias. Assim, há necessidade de discussão e formalização de parâmetros de aferição e controle pelos órgãos competentes, baseados em estudos científicos, gerando uma cadeia diretamente relacionada ao desenvolvimento sustentável.

Destaca-se que, há necessidade de se realizar estudos experimentais com base na possibilidade de detecção de substâncias químicas utilizadas no fraturamento na região, a fim de avaliar a qualidade das águas e solos já utilizados para a exploração de gás convencional, na região. E por fim, garantir a segurança química hídrica das águas dos Aquíferos São Sebastião e Marizal quanto às possíveis contaminações, além de proporcionar a certeza que estas águas continuam de boa qualidade para consumo humano e para a indústria de bebidas no Recôncavo Norte Baiano.

## REFERÊNCIAS

- ABELHA, Marina. **Potencial Exploratório Brasileiro para Gás de Folhelho**. 2016. 52 slide. Palestra na Associação Profissional dos Geólogos do Paraná (AGEPAR) e o Instituto de Engenharia do Paraná – IEP. 05 de outubro de 2016, Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ea4AyKc7vAw>. Acesso em 12 fev. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2012**. - Rio de Janeiro: Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: 26.06.2021
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2014**. - Rio de Janeiro: Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: 16.07.2021
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2016**. - Rio de Janeiro: Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: 01.08.2021
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2020**. - Rio de Janeiro: Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: 26.06.2021
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2021**. - Rio de Janeiro: Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: 27.10.2021
- AGENDA 2030. **Acompanhando o desenvolvimento sustentável até 2030**. 2021. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/acompanhe>. Acesso em: 01.mar.2021.
- AHMADUN, F.; PENDASHTEH, A.; ABDULLAH, L. C.; BIAK, D. R. A.; MADAENI, S. S.; ABIDIN, Z. Z. **Review of technologies for oil and gas produced water treatment**. Journal of Hazardous Materials, v. 170, p. 530-551, 2009
- ALI, B. and Kumar, A. 2016. **Development of life cycle water footprints for gas-fired power generation technologies**. Energy Conversion and Management 110:386-396.
- ALQATTAN J, KIM Y, KERDI S, QAMAR A, GHAF FOUR N. **Espaçadores do tipo orifício para tratamento de água produzido por gás de xisto mais estável por osmose direta. Membranas**. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/membranes11010034>. Acesso em: Jun 2021.

ANJOS, Jeancarlo Pereira dos; ROCHA, Gisele Olímpio da; ANDRADE, Jailson Bittencourt de. (2014). **Matriz energética e o binômio água vs. energia para o Brasil. Ciência e Cultura**, 66 (4), 4-5. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252014000400002> Acesso em: Jun 2021.

ARARIPE, Paulo de T., **Quarta rodada de licitações – Bacia do Recôncavo**. Seminário Jurídico/Fiscal Workshop Técnico da Quarta Rodada de Licitações. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, 2003 Disponível em: <https://docplayer.com.br/6931040-Quarta-rodada-de-licitacoes-bacia-do-reconcavo.html>. Acesso em 12 fev. 2020

Associação Brasileira de Indústria Química (Abiquim). **Relatório anual 2012**. Biblioteca Abiquim. São Paulo, 2021.

Associação Brasileira de Indústria Química (Abiquim). **Relatório anual 2020**. Biblioteca Abiquim. São Paulo, 2020.

BAKKE, T.; KLUNGSØYR, J.; SANNI, S. 2013. **Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry**. Marine Environmental Research, 92: pp. 154-169.

BARDIN, L. (2011). **Organização da análise. Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições, 70, 229.

BENAVIDES, P. T., & DIWEKAR, U. (2015). **Optimal design of adsorbents for NORM removal from produced water in natural gas Fracking. Part 1: Group contribution method for adsorption**. Chemical Engineering Science, 137, 964-976. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2015.07.012> Acesso em: Jun 2021.

BILGILI, Faik; KOÇAK, Emrah; BULUT, Ümit (2020). **A produção de gás de xisto e o crescimento econômico nas economias locais dos EUA**. Ciência Ambiental e Pesquisa de Poluição. Disponível em: doi: 10.1007 / s11356-020-07776-7

BIOCOMBUSTÍVEIS- CONEPETRO 2. **Anais eletrônicos [...]**. Campina Grande: Editora Realize, 2016, Natal. 2016. Disponível em: [https://www.editorarealize.com.br/revistas/conepetro/trabalhos/TRABALHO\\_EV052\\_MD1\\_SA7\\_ID1716\\_11062016195349.pdf](https://www.editorarealize.com.br/revistas/conepetro/trabalhos/TRABALHO_EV052_MD1_SA7_ID1716_11062016195349.pdf). Acesso em: 5 jun. 2021

BLATTLER, S. **A regulação diante de incertezas científicas: um estudo sobre a possibilidade de exploração e produção de shale gas no Brasil**. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2017

BHATTACHERJEE, A. **Social Science Research: Principles, Methods, and Practices**. 2 nd ed. Open Access Textbooks. 2012.

BRANDÃO, Aglaia Trindade. **Análise estratigráfica e hidrogeológica da Formação São Sebastião no Campo de Araçás, Bacia do Recôncavo – Bahia**. Dissertação (Mestrado). Salvador: IGEO/UFBA, 2008.

BURTON, Tylour G.; RIFAI, Hanadi S.; HILDENBRAND, Zacariah L.; CARLTON, Doug D.; FONTENOT, Brian E.; SCHUG, Kevin A. (2016). **Elucidando os impactos do fraturamento hidráulico na qualidade da água subterrânea usando uma abordagem de modelagem estatística geoespacial regional**. *Science of The Total Environment*, 545-546 (), 114-126. Disponível em: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.084> Acesso em: Jun 2021.

BRASIL, Agencia Nacional de Petróleo (ANP), **Boletim Anual de Preços 2014**. Brasília, Distrito Federal; 2014. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/images/Boletim-Anual/Boletim-2014.pdf>. Acesso 09 fev. 2020.

BRASIL. Resolução nº 6, de 25 de junho de 2013. Conselho Nacional De Política Energética – CNPE. **Autoriza a realização da Décima Segunda Rodada de Licitações de blocos para a exploração e produção de petróleo e gás natural**. Acesso em: 12 fev. 2020

BUNCH, A. et al. **Evaluation of impact of shale gas operations in the Barnett Shale region on volatile organic compounds in air and potential human health risks**. *Science of the Total Environment*, v. 468-469, p. 832-842, jan. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.080> Acesso em: Jun 2021.

CABRAL, Jaime J. da Silva Pereira (2008) **Movimento das águas subterrâneas. Hidrogeologia Conceitos e Aplicações**. Capítulo 2.2. Serviço Geológico do Brasil.

CAIADO, R. G., LEAL, W. F., QUELHAS, O., NASCIMENTO L. M., D., & ÁVILA, L. (2018). **A literature-based review on potentials and constraints in the implementation of the sustainable development goals**. *Journal of Cleaner Production*, 198, 1276-1288. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.102> Acesso em: Jun 2021.

CAENN, R.; DARLEY, H. C. H.; GRAY, GRAY, R. **Fluidos de Perfuração e Completação**. 6. Ed. – Rio de Janeiro: Elseiver, 2011.

CARNEIRO, J. T. G. 2005. **Avaliação geo-econômica de campos marginais oferecidos pela ANP na Bacia do Recôncavo, Bahia, na sétima rodada de licitações**. Dissertação (Mestrado) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro/RJ. 133 p.

CARPEJANI, Gabriela; GUERRA, ANDRADE, José Baltazar Salgueirinho Osório de; CASAGRANDE, Jacir Leonir. **Análise dos riscos econômicos, sociais e ambientais na exploração do gás de xisto por “fracking” no município de Papanduva – SC**. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, [S.l.], v. 9, p. 147-164, fev. 2020. ISSN 2238-8753. Disponível em: [http://portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao\\_ambiental/article/view/8693](http://portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8693). Acesso em: 27 jun. 2021.

CEDBS 2018. **O acordo de Paris e o Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: [https://cebds.org/o-acordo-de-paris-e-o-desenvolvimento-sustentavel/?gclid=Cj0KCQjwwyFBhDvARIsAA67M72dkYuhr9ZUi-iTiBY52YP-I\\_vqQi0GxUAc3KbXdkctG9LSH1cTlvYaAmPvEALw\\_wcB#.YLu3S\\_IKi00](https://cebds.org/o-acordo-de-paris-e-o-desenvolvimento-sustentavel/?gclid=Cj0KCQjwwyFBhDvARIsAA67M72dkYuhr9ZUi-iTiBY52YP-I_vqQi0GxUAc3KbXdkctG9LSH1cTlvYaAmPvEALw_wcB#.YLu3S_IKi00). Acesso em: 05.06.2021

CHERYAN, M.; RAJAGOPALAN, N. **Membrane processing of oily streams: Wastewater treatment and waste reduction**. Journal Membrane Science, v. 151, p.13-18, 1998.

COOPER, D. R. & SCHINDLER, P. S. (2011). **Métodos de pesquisa em administração**. 10 ed., Porto Alegre: Bookman.

COSTA, Ivan Peixoto; MILHOMEM, Paulo da Silva; BUENO, Gilmar Vital; SILVA, Hélio Sérgio Rocha Lima; KOSIN, Marília Dietzsch. **Sub-Bacias de Tucano Sul e Central**. Boletim de Geociências Petrobrás, Rio de Janeiro, v.15, p.433-443, 2007.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed. 2007

CRESWELL, J. W. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa: escolhendo entre cinco abordagens**. 3. ed. Porto Alegre: Penso. 2014

DELGADO, M. S., GUILFOOS, T., & BOSLETT, A. (2016). **The cost of unconventional gas extraction: A hedonic analysis**. Resource and Energy Economics, 46, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2016.07.001>

DENZIN, N. K., & LINCOLN, Y. S. (2005). **The SAGE Handbook of Qualitative Research**. 4 ed.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA MINERAL (DNPM). **Registro de Nacional de dados pluviométricos**. Brasília-DF. 2021

DESTRO, N.; SZATMARI, P.; ALKMIN, F. e MAGNAVITA, L. **Release faults, associated structures and their control on petroleum trends in the Recôncavo rift, northeast Brazil**, AAPG Bulletin, **87**:1123–1144. 2003

DOWDALL, M & LEPLAND, A. 2012. **Elevated levels of radium-226 and radium-228 in marine sediments of the Norwegian Trench (“Norskrenna”) and Skagerrak**. Marine Pollution Bulletin, 64: pp. 2069-2076

EIA US Energy Information Administration. **Avaliações mundiais de recursos de xisto**. 1000 Independence Ave., SW Washington, DC 20585. Última atualização: 24 de setembro de 2015. Disponível em: [www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas](http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas). Acesso em 06/03/2020;

EIA US Energy Information Administration. **Gás 2019, Análise e previsões para 2024**, Relatório de combustível - junho de 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/gas-2019>. Acesso em 05/06/2021

EPE. **NOTA TÉCNICA PR 04/18 – Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/NT04%20PR\\_RecursosEnergeticos%202050.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/NT04%20PR_RecursosEnergeticos%202050.pdf). Acesso em: Ago. 2019

EPE. **Mapa da infraestrutura de gasodutos e transporte**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-169/Mapa%20da%20Infraestrutura%20de%20Gasodutos%20de%20Transporte.pdf>. Acesso em: Out 2021

EVANGELISTA ALVES, J., & de Moraes Nascimento, S. A. (2019). **Análises isotópicas no aquífero São Sebastião, Bahia**. Águas Subterrâneas. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v0i0.29663> Acesso em: Jun 2021.

FELTRIM, T. F. V. S. (2019). **A ameaça do Fracking e o papel do acordo sobre o Sistema Aquífero Guarani na proteção ambiental nas águas subterrâneas**. Univel Centro Universitário. Retrieved 13 June 2020, Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/123456789/4911> Acesso em: Jun 2021.

FERGUSON, M., LYNCH, M., MILLER, Z., FERGUSON, L., & NEWMAN, P. (2020). **What do outdoor recreationists think of fracking? Politics, ideology, and perceptions of shale gas energy development in Pennsylvania State Forests**. Energy Research & Social Science, 62, 101384. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101384>

FIGUEREDO, K. S. L.; MARTÍNEZ-HUITLE, C. A.; TEIXEIRA, A. B. R.; PINHO, A. L. S.; VIVACQUA, C. A.; SILVA, D. R. **Study of produced water using hydrochemistry and multivariate statistics in different production zones of mature fields in the Potiguar Basin - Brazil**, Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 116, p. 109-114, 2014.

FINK, Johannes. **Produtos químicos de fraturamento hidráulico e tecnologia de fluidos**. Tipos de fluidos, 29–53. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016 / B978-0-12-822071-9.00009-8> Acesso em: Jun 2021.

GANONG LH. **Integrative reviews of nursing research**. Res Nurs Health, v. 10, n. 1, pp:1-11, 1987.

FREIRE, AFM, dos SANTOS, GFR, da SILVA, CF, & LUPINACCI, WM (2020). **Reconhecimento de estágios de turbidita no campo de óleo de Massapê, Bacia do Recôncavo - Brasil, a partir de perfis de poços**. Journal of Petroleum Science and Engineering, 192, 107279. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107279> Acesso em: Jun 2021.

FUKUI, R., GREENFIELD, C., POGUE, K., & VAN Der ZWAAN, B. (2017).

**Experience curve for natural gas production by hydraulic fracturing.** *Energy Policy*, 105, 263-268. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.02.027>

GAO, J., & YOU, F. (2017). **Design and optimization of shale gas energy systems: Overview, research challenges, and future directions.** *Computers & Chemical Engineering*, 106, 699-718.

<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.01.032>

GODOY, A. S. **Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais.** *Revista de Administração de empresas*, 20-29. 1995

GUBA, E. G., & LINCOLN, Y. S. **Competing paradigms in qualitative research.** *Handbook of qualitative research*, 2(163-194), 105. 1994

GUO, Meiyu; LU, Xi; NIELSEN, Chris P.; MCELROY, Michael B.; SHI, Wenrui; CHEN, Yuntian; XU, Yuan (2016). **Perspectivas para a produção de gás de xisto na China: implicações para a demanda de água.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66 (), 742–750. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.026> Acesso em: Jun 2021.

HAMMOND, G., & O'GRADY, Á. (2017). **Indicative energy technology assessment of UK shale gas extraction.** *Applied Energy*, 185, 1907-1918.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.024>

HE Q, He B, LI F, SHI A, CHEN J, XIE L, NING W.. 2021. **Caracterização Fractal de Fraturas Hidráulicas Complexas em Xisto Petrolífero via Topologia** *Energies* 14, no. 4: 1123. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en14041123> Acesso em: Jun 2021.

HERRERA HERBERT, Juan (2020). **Ingeniería de la perforación de pozos de petróleo y gás. Vol. I: Orígenes e características dos hidrocarburos.** . Ingeniería de la perforación de pozos de petróleo y gás., I. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Disponível em: <https://doi.org/10.20868/UPM.book.62714>. Acesso em: Jun 2021.

HWANG, J.; SHARMA, M. M. **Generation and filtration of O/W emulsions under nearwellbore flow conditions during produced water re-injection,** *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 165, p. 798-810, 2018.

HUANG, Tianming; LI, Yiman; PANG, Zhonghe; WANG, Yingchun; YANG, Shuo (2017). **Qualidade da água da linha de base da água subterrânea em um sítio de exploração de gás de xisto e interação fluido de fraturamento - rocha de xisto.** *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, 638–641. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2016.12.171> Acesso em: Jun 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativa populacional 2020.** Brasília: IBGE, 2020

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Mapa Hidrogeológico Região Nordeste**. Brasília: IBGE, 2013

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Lei da vida: Lei dos crimes ambientais: Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008**. /2º ed., revista e atualizada. CNIA. – Brasília: IBAMA, 2014. 64 p.

INSTITUTO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS ZÉ EDUARDO DUTRA (Inep). **Baixa de preço reconfigura o papel dos EUA na geopolítica do gás natural. 2020**. Disponível em: <https://ineep.org.br/baixa-de-preco-reconfigura-o-papel-dos-eua-na-geopolitica-do-gas-natural>. Acesso em 27.10.2021

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET (2021). **Normais Climatológicas (1961/1990)**. Brasília - DF, 2021. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/#>. Acesso em 06/07/2021

JOHNSTON, R. **Sources of Water Supplying Pumpage from Regional Aquifer Systems of the United States**. HYJO 5, 54-63. 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s100400050115>. Acesso em: Jun 2021.

JOHNSON, C., & BOERSMA, T. (2013). **Energy (in) security in Poland the case of shale gas**. Energy Policy, 53, 389-399. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.068>

LAGE, E. S. et al. **Gás não convencional: experiência americana e perspectivas para o mercado brasileiro**. BNDS setorial. Vol. 37, p. 33-38, 2013.

LENHARD, L., ANDERSEN, S., & COIMBRA-ARAÚJO, C. (2018). **Energy-Environmental Implications of Shale Gas Exploration in Paraná Hydrological Basin, Brazil**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 90, 56-69. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.042> Acesso em: Jun 2021.

LI, Xue-Mei; ZHAO, Baolong; WANG, Zhouwei; XIE, Ming; SONG, Jianfeng; NGHIEM, LONG D.; ELE, Tao; YANG, Chi; LI, Chunxia; CHEN, Gang (2014). **Recuperação de água de fluido de refluxo de perfuração de gás de xisto usando um novo sistema híbrido de destilação por membrana de osmose-vácuo direta**. Water Science & Technology, 69 (5), 1036–. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wst.2014.003> Acesso em: Jun 2021.

LIMA, A. C; ANJOS, J. A. S. A. **Shale gas: Riscos ambientais de sua produção para o Brasil**. Rev. Gest. Sust. Ambiente., Florianópolis, n. Esp, p. 167-180, dez. 2015.

LIU, Jianye; LI, Zuxin; LUO, Dongkun; DUAN, Xuqiang; LIU, Ruolei (2020). **Produção de gás de xisto na China: uma análise regional de subsídios e sugestões de políticas**. Política de utilitários, 67 (), 101135–. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101135> Acesso em: Jun 2021.

LOWE, Philip, et al., (2020). **Relatório + Resumo do World Energy Trilema Index 2020** (INIS-FR - 21-0674). França.

LOZANO MAYA, Juan Roberto (2013). **A experiência dos Estados Unidos como referência de sucesso para o desenvolvimento de gás de xisto: O caso do México**. Energy Policy, 62 (), 70-78. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.088> Acesso em: Jun 2021.

MANOEL FILHO. Joao (2008) **Ocorrência das águas subterrâneas. Hidrogeologia Conceitos e Aplicações**. Capítulo 2.1. Serviço Geológico do Brasil.

McCOY, D; SAUNDERS, P. (2015). **Health and Fracking: The Impacts and Opportunity Costs**. Medact. <https://doi.org/10.1136/bmj.k2397>

MENG, Q. (2017). **The impacts of fracking on the environment: A total environmental study paradigm**. Science of The Total Environment, 580, 953-957. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.045> Acesso em: Jun 2021.

MEHANY, M., & KUMAR, S. (2019). **Analyzing the feasibility of fracking in the U.S. using macro level life cycle cost analysis and assessment approaches — A foundational study**. Sustainable Production and Consumption, 20, 375-388. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.08.001> Acesso em: Jun 2021.

MERINO-SAUM, A., BALDI, M., GUNDERSON, I., & OBERLE, B. (2018). **Articulating natural resources and sustainable development goals through green economy indicators: A systematic analysis**. Resources, Conservation and Recycling, 139, 90-103. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.007> Acesso em: Jun 2021.

MILKOV, Alexei V.; FAIZ, Mohinudeen; ETIOPE, Giuseppe (2020). **Geoquímica de gases de xisto em todo o mundo: Composição, origens, reversões e rollovers de isótopos e implicações para a exploração de jogos de xisto**. Organic Geochemistry, 103997. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2020.103997> Acesso em: Jun 2021.

MIKOS-SZYMAŃSKA, M., RUSEK, P., BOROWIK, K. et al. **Caracterização de resíduos de perfuração da exploração de gás de xisto na Polónia Central e Oriental**. Environ Sci Pollut Res 25, 35990–36001 (2018). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2365-8> Acesso em: Jun 2021.

MILANI, E.J.; RANGEL, H.D.; BUENO, J.M.S.; WINTER, W.R.; CAIXETA, J.M.; PESSOA NETO, O.C. **Bacias sedimentares brasileiras – Cartas estratigráficas. (2007)** Boletim de Geociências da Petrobras. Rio de Janeiro. Volume 15(2), pág. 183-205.

MONTCOUDIOL, Nelly; ISHERWOOD, Catherine; GUNNING, Andrew; KELLY, Thomas; YOUNGER, Paul L. (2017). **Impactos do gás de xisto nos recursos**

**hídricos subterrâneos: Compreendendo o comportamento de um aquífero raso ao redor de um local de fraturamento hidráulico na Polônia.** Energy Procedia, 125 (), 106-115. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.083> Acesso em: Jun 2021.

Moura TT, 2020. **Caracterização bidimensional de fraturas naturais de tração em bacias sedimentares: algumas implicações para o fraturamento hidráulico estimulado.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 141 p.

MPF/PR: **Justiça anula procedimento licitatório da 12ª rodada de licitações para exploração de gás de xisto na Bacia do Rio Paraná.** Ministério Público Federal, 2017. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/pr/sala-de-imprensa/noticias-pr/mpf-pr-justica-anula-procedimento-licitatorio-da-12a-rodada-de-licitacoes-para-exploracao-de-gas-de-xisto-na-bacia-do-rio-parana>. Acesso em: 09 fev. 2020.

MULLIGAN, M., van SOESBERGEN, A., HOLE, D. G., BROOKS, T. M., BURKE, S., & HUTTON, J. (2020). **Mapping nature's contribution to SDG 6 and implications for other SDGs at policy relevant scales.** Remote Sensing of Environment, 239, 11.1671. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111671> Acesso em: Jun 2021.

NASCIMENTO, Sérgio Augusto de Moraes; ALVES, Jamille Evangelista, (2014). **Estudo Hidrogeoquímico Comparativo entre os Aquíferos Barreiras, Marizal e São Sebastião na Região do Recôncavo Norte, Estado da Bahia.** Cadernos de Geociências, v. 11, n. 1-2, nov. 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/cadgeoc/article/viewFile/11318/8975> Acesso em: Jun 2021.

NASCIMENTO, S. A. de M., LEAL, L. R. B., & PURIFICAÇÃO, C. G. C. da. (2016). **A utilização da análise de variância (ANOVA) na distinção de aquíferos sedimentares na região do Recôncavo Norte, Estado da Bahia.** Águas Subterrâneas, 30(3), 411–426. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v30i3.28654> Acesso em: Jun 2021.

NASCIMENTO, Sérgio Augusto de Moraes; MORAES, Luiz Roberto Santos; REIS, Maria das Graças de Castro; SANTANA, Ana Virgínia Alves. **Estudo Qualiquantitativo das águas subterrâneas no Município de Alagoinhas-Bahia como componente do Plano Municipal de Saneamento Ambiental.** Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, 2015

NGAN, S. L., HOW, B. S., TENG, S. Y., PROMENTILLA, M. A. B., YATIM, P., ER, A. C., & LAM, H. L. (2019). **Prioritization of sustainability indicators for promoting the circular economy: The case of developing countries.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 111, 314-331. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.001> Acesso em: Jun 2021.

O'BRIEN, N., & Hipel, K. (2016). **A strategic analysis of the New Brunswick, Canada fracking controversy**. *Energy Economics*, 55, 69-78.  
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.12.024>

OLIVEIRA, Iara Brandão de, NEGRÃO, Francisco Inácio, SILVA, Alessandra Gomes Lopes Sampaio. (2007). **Mapeamento dos aquíferos do estado da Bahia utilizando o índice de qualidade natural das águas subterrâneas – IQNAS**. *Revista Águas Subterrâneas*. v.21, n.1, p.123-137.

PARTRIDGE, T., THOMAS, M., HARTHORN, B., PIDGEON, N., HASELL, A., STEVENSON, L., & ENDERS, C. (2017). **Seeing futures now: Emergent US and UK views on shale development, climate change and energy systems**. *Global Environmental Change*, 42, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.11.002>

PAUTASSO, M. **Ten Simple Rules for Writing a Literature Review**. Bourne PE, ed. *PLoS Computational Biology*, v. 9, n. 7, 2013. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3715443/pdf/pcbi>. Acesso em: Jun 2021.

PEIXINHO, Marco Antonio Lima. **Hidrogeologia do sistema aquífero Marizal/São Sebastião na sub- bacia do Tucano Central, Estado da Bahia**. Salvador– Bahia. 2016

PEREIRA, T. A. (2016). **Análise das implicações ambientais na extração do gás de xisto** (Dissertação). Universidade Federal do Triângulo Mineiro.  
<http://bdtd.ufm.edu.br/handle/tede/363>

PETROBRAS. Agência Petrobras. **Portal institucional**. Disponível em: <https://www.agenciapetrobras.com.br/> Acesso em: ago.2021

PETROBRAS. **Manual de Fluidos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Petrobras - Petróleo Brasileiro S.A., 2011.

PETROBRAS SA, Salvador: **Cidade Alta e Cidade Baixa, Porquê?** Bahia Geological Paths Project. 2015.

PIERRY, F. (2018). **Bolsonaro promete incentivar exploração do polêmico gás de Xisto**. *Gazeta do Povo*. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/politica/republica/eleicoes-2018/bolsonaropromete-incentivar-exploracao-do-polemico-gas-de-Xisto-2l5zqyqea73zn6q3m1tqa5cl2> Acesso em: Jun 2021.

PORSANI, Milton., HOLZ, J. Michael.. **Recursos não convencionais**. Bahia. Caderno FGV Energia. 2021.

REZENDE, PRISCILA & GECIANE, Porto. **INDÚSTRIAS NACIONAIS DE PETRÓLEO E DE PETROQUÍMICOS E OS ELEMENTOS DETERMINANTES DA TRAJETÓRIA E DA MATURIDADE TECNOLÓGICA**. XIX SIMPÓSIO DE

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO Sustentabilidade Na Cadeia de Suprimentos Bauru, SP, Brasil, 5 a 7 de novembro de 2012.

RIVARD, C.; BORDELEAU, G.; LAVOIE, D.; LEFEBVRE, R.; LADEVÈZE, P.; DUCHESNE, MJ; SÉJOURNÉ, S.; CROW, H.; PINET, N.; FREIO, V.; BOUCHEDDA, A.; GLOAGUEN, E.; AHAD, JME; MALET, X.; AZNAR, JC; MALO, M. **Avaliação dos impactos potenciais do desenvolvimento do gás de xisto em aquíferos rasos por meio da migração de fluidos ascendente: Uma abordagem multidisciplinar aplicada ao xisto de Utica, no leste do Canadá.** *Marine and Petroleum Geology*, S0264817218304744. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2018.11.004> Acesso em: Jun 2021.

RIBEIRO, W.C. **Gás “de xisto” no Brasil: uma necessidade?** *Revista Estudos Avançados*. Vol. 28, p. 82, 2014. Universidade de São Paulo. 2014.

RICCOMINI, Claudio; MOURA, Thaís Tevisani; SANT’ANNA, Lucy Gomes; TASSINARI, Colombo Celso Gaeta; TAIOLI, Fábio. **Potencial de Exploração de Não-Convencionais**. Capítulo 3. Item 3.3. *Cadernos FGV*. 2020.

ROCHA, Gisele O. da; dos ANJOS, Jeancarlo P.; de ANDRADE, Jailson B. . **Water Challenges and Solutions for Brazil and South America. In: Stander Abuja;** Jailson B. de Andrade; Dionysios D. Dionysiou; Kiril D. Hristovski; Bommanna G. Loganathan. (Org.). *ACS Symposium Series*. 1ed. Washington, DC: American Chemical Society, 2015, v., p. 71-94.

ROCHA, Gisele Olímpio da; ANJOS, Jeancarlo Pereira dos; ANDRADE, Jailson Bittencourt de. **Matriz energética e o binômio água vs. energia para o Brasil.** *Tendências*. 2021

ROCHA, Gisele O. Da.; ANJOS, Jeancarlo P. dos.; ANDRADE, Jailson B. de. **Energy trends and the water-energy binomium for Brazil.** *Anais da Academia Brasileira de Ciências* [online]. 2015a, v. 87, n. 2, pp. 569-594. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0001-3765201520140560>>. ISSN 1678-2690. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520140560>. Acesso em: 27 junho 2021

ROCHA, Gisele O. da, ANJOS, Jeancarlo P. dos; ANDRADE, Jailson B. de **Desafios e soluções da água em escala global.** 1 ° de janeiro de 2015b, 71-94. Disponível em: <https://doi.org/10.1021 / bk-2015-1206.ch005> Acesso em: Jun 2021.

SACCOL, A. Z. (2009). **Um retorno ao básico: compreendendo os paradigmas de pesquisa e sua aplicação na pesquisa em administração.** *Revista de Administração da UFSM*, 2(2), 250-269.

SANTOS, Caroline Couto; REIS, Carolina; PEDREIRA, Augusto José. **Geologia da folha Cícero Dantas: SC. 24-Z-A-V, escala 1:100.000.** Salvador: CPRM, 2010. (Programam Geologia do Brasil; Levantamentos Geológicos Básicos; Sistema de Informações Geográficas. Projeto Bacia do Tucano Central).

SAUSSAY, Aurélien (2017). **A revolução do xisto nos Estados Unidos pode ser duplicada na Europa continental? Uma análise econômica dos recursos europeus de gás de xisto.** Energy Economics, (), S0140988317303304–. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.10.002> Acesso em: Jun 2021.

SCHEIBE, L. F., HENNING, L. A., & NANNI, A. S. (2014). **Aspectos territoriais da exploração do gás de folhelho (gás de Xisto) por fraturamento hidráulico.** Águas Subterrâneas. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28339> Acesso em: Jun 2021.

SCOTCHMAN, IC (2016). **Gás de xisto e fracking: exploração de hidrocarbonetos não convencionais.** Proceedings of the Geologists 'Association, 127 (5), 535–551. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2016.09.001> Acesso em: Jun 2021.

SHAR, A.M., & ABRO, W.A. (2020). **Simulation study to evaluate the impact of fracture parameters on shale gas productivity.** Mehran University Research Journal of Engineering and Technology, 39(2), 432-442.

SILVA, D. R.; MIZUSAKI, A.M.P.; MILANI, E.J.; MILHOMEN, P. S.; PIMENTEL, M. (2011). **Determination of depositional age of Paleozoic and pre-rift supersequences of the Recôncavo Basin in northeastern Brazil by applying Rb-Sr radiometric dating technique to sedimentar rocks.** Journal of South American Earth Sciences

SILVA, P. H. M. da. **Gás de xisto no Brasil e no mundo: perspectivas e paradoxos do desenvolvimento energético.** Revista da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, v. 26, n. 1 e 2, p. 46–65, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.35699/2316-770X.2019.12640>. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistadaufmg/article/view/12640>. Acesso em: 5 jun. 2021

SILVA, Lucas da Silva e; DANTAS, Michelle Sinara Gregório; da SILVA, Ana Cristina Moraes. **Aspectos Ambientais do Fraturamento Hidráulico em Reservatórios de Petróleo e Gás Não Convencionais na Bacia do Recôncavo Baiano.** 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo EeGás. Maceió. 2017 Disponível em: [https://portalabpg.org.br/site\\_portugues/anais/anais9/repositorio/trabalho/392105280820178723.pdf](https://portalabpg.org.br/site_portugues/anais/anais9/repositorio/trabalho/392105280820178723.pdf). Acesso em: 07.09.2021

SIMÃO, S.F. **Oportunidade para a petroquímica brasileira face ao fenômeno do Shale Gas.** 2014. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SHIP, Plataforma de Informações sobre Gás de Xisto. **Noções básicas - Proteção da água**. Disponível em: <http://www.shale-gas-information-platform.org/areas/basics-of-shale-gas/water-protection/#c193>. Acesso em: 09 fev. 2020.

SOEDER, D. J. (2018). **The successful development of gas and oil resources from shales in North America**. Journal of Petroleum Science and Engineering, 163, 399-420. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.12.084> Acesso em: Jun 2021.

SOUZA, Ernandes Vaz et al. **Gás de “xisto” como fonte energética**. Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural. 2020

SOUZA, Lucas Dantas Evaristo de. SCHMITT, Guilherme Berger. **Gás de xisto: incentivo à degradação ambiental ou solução energética? uma análise crítica**. Revista de Direito Ambiental, v. 84, p. 477-500, out-dez. 2016.

SPEIGHT, James G. (2020). **Remediação natural da água - Água e fraturamento hidráulico**. 233–262. Disponível em: <https://doi.org/10.1016 / B978-0-12-803810-9.00007-3>

STEFANO, Paulo Henrique Prado; CRISTO, Sillas Alves de; GOMES, Ivan Pastro; SANTOS, Mirna Mariense Nepomuceno. (2019) **Avaliação hidrogeoquímica das águas superficiais e subterrâneas na região sudoeste da bacia do rio Subaúma, Bahia**. Geochimica Brasiliensis 33(2): 188 - 196, 2019.

STRINGFELLOW, W. T. et al. **Physical, chemical, and biological characteristics of compounds used in hydraulic fracturing**. Journal of Hazardous Materials 275 (2014) 37–54

SUASSUNA, João. **Águas Subterrâneas: O que é e qual a importância?** 29 de setembro de 2020 Fundação Joaquim Nabuco. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/aguas-subterraneas>. Acesso em 29.07.2021

STAMFORD, L., & AZAPAGIC, A. (2014). **Life cycle environmental impacts of UK shale gas**. Applied Energy, 134, 506-518. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.063>

STEPHENSON, M. (2015). **Shale gas and Fracking: the science behind the controversy**. Elsevier

SZOLUCHA, A. (2019). **A social take on unconventional resources: Materiality, alienation and the making of shale gas in Poland and the United Kingdom**. Energy Research & Social Science, 57, 101254. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101254>

TAIOLI, F. **Gás de folhelho no Brasil – Perspectivas e dúvidas**. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 65., 2013, Recife. Anais... [s.l :SBPC, 2013. Disponível em:

[http://www.sbpcnet.org.br/livro/65ra/PDFs/arq\\_2939\\_1011.pdf](http://www.sbpcnet.org.br/livro/65ra/PDFs/arq_2939_1011.pdf). Acesso em: 27.fev.2019.

THOMAS JE, TRIGGIA AA, CORREIA CA, FILHO CV, XAVIER JAD, MACHADO JCV. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência; 2001.

THOMAS, M., PIDGEON, N., & BRADSHAW, M. (2018). **Shale development in the US and Canada: a review of engagement practice**. *The Extractive Industries and Society*, 5(4), 557-569. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.07.011>

TIOSSI, FM.; SIMON, AT.. **Economia Circular: suas contribuições para o desenvolvimento da Sustentabilidade** - *Brazilian Journal of Development*, 2021 - [brazilianjournals.com](http://brazilianjournals.com)

TISSOB BP, WELTE DH. **Petroleum formation and occurrence**. vol. 71. Second. California: Springer; 1987

VENGOSH, A., WARNER, N., JACKSON, R. & DARRAH, T. (2013). **The Effects of Shale Gas Exploration and Hydraulic Fracturing on the Quality of Water Resources in the United States**. *Procedia Earth and Planetary Science*, 7, 863-866. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2013.03.213> Acesso em: Jun 2021.

VIANA, Fernando Luiz E. **Indústria Petroquímica**. Caderno Setorial ETENE. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 4, n.98, out.2019. Acesso em: Jun 2021.

VIEIRA, M. M. F., & Zouain, D. M. (2004). **Pesquisa qualitativa em administração**. Rio de Janeiro: FGV, 13-28.

XIA, Liangyu; LUO, Dongkun; YUAN, Jiehui (2015). **Explorando o futuro do gás de xisto na China de uma perspectiva econômica com base em áreas-piloto na análise de cenário da bacia de Sichuan**. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 22, 670-678. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2015.01.016> Acesso em: Jun 2021.

XIONG, Fengyang; ROTHER, Gernot; TOMASKO, David; PANG, Wanying; MOORTGAT, Joachim (2020). **Sobre a dependência da pressão e da temperatura das densidades de adsorção e outras propriedades termodinâmicas em xistos gasosos**. *Chemical Engineering Journal*, 395, 124989–. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124989> Acesso em: Jun 2021.

WHITTON, John; BRASIER, Kathryn; CHARNLEY-PARRY, Ioan; COTTON, Matthew (2017). **Governança do gás de xisto no Reino Unido e nos Estados Unidos: Oportunidades para a participação pública e as implicações para a justiça social**. *Energy Research & Social Science*, 26, 11–22. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.01.015> Acesso em: Jun 2021.

YIN R. K. (2015). **Estudo de caso. Planejamento e métodos.** Tradução de Anna Maria Vascoellos Thorell. Porto Alegre, RS: Bookman.

YIN, R. (2016). **Pesquisa qualitativa do início ao fim.** Tradução de Daniela Bueno. Revisão técnica de Dirceu da Silva. Porto Alegre, RS: Penso.

YUAN, Jiehui; LUO, Dongkun; XIA, Liangyu; FENG, Lianyong (2015). **Recomendações de políticas para promover o desenvolvimento de gás de xisto na China com base em uma avaliação técnica e econômica.** Energy Policy, 85, 194–206. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.006> Acesso em: Jun 2021.