

Série

Rochas e Minerais Industriais

Areia de Fraturamento Hidráulico: usos, características, mercado e perspectivas

Paulo Fernando Almeida Braga

Francisco Mariano R. de Souza Lima

José Mário Coelho

Caroline da Costa Gonçalves

SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

**Areia de Fraturamento Hidráulico: usos,
características, mercado e perspectivas**

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES

Gilberto Kassab

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

Elton Santa Fé Zacarias

Secretário-Executivo

Luiz Henrique da Silva Borda

Diretor Substituto de Gestão das Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais da Secretaria Executiva

Luiz Henrique da Silva Borda

Coordenador-Geral das Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Fernando Antonio Freitas Lins

Diretor

Robson de Araújo D'Ávila

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

Claudio Luiz Schneider

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Coordenador de Rochas Ornamentais e Minerais Industriais - COROM

José Antônio Pires de Mello

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

Durval Costa Reis

Coordenador de Administração - COADM

SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

ISSN 1518-9155

ISBN – 978-85-8261-067-1

SRMI - 20

Areia de Fraturamento Hidráulico: usos, características, mercado e perspectivas

Paulo Fernando Almeida Braga

Eng. Químico, D.Sc. em Engenharia Mineral, Escola Politécnica da USP. Tecnologista Sênior do CETEM/MCTIC.

Francisco Mariano R. de Souza Lima

Eng. Industrial, D.Sc. em Engenharia Mineral, Escola Politécnica da USP. Analista de C&T do CETEM/MCTIC.

José Mário Coelho

Eng. de Minas, D.Sc. em Geociências pela UNICAMP. Prof. do Departamento de Geologia da UFRJ.

Caroline da Costa Gonçalves

Eng. de Minas pela Universidade Federal de Alfenas. Bolsista PCI do CETEM/MCTIC.

CETEM/MCTIC

2017

SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

Silvia Cristina Alves França

Editora

Luiz Carlos Bertolino

Subeditor

CONSELHO EDITORIAL

Adão Benvindo da Luz (CETEM), Francisco Wilson Hollanda Vidal (CETEM), Jurgen Schnellrath (CETEM), Arthur Pinto Chaves (USP), Luis Lopes (Universidade de Evora), Carlos Adolpho Magalhães Baltar (UFPE), Marsis Cabral Junior (IPT), José Yvan P. Leite (IFRN) e Renato Ciminelli (Consultor).

A Série Rochas e Minerais Industriais publica trabalhos na área minerometalúrgica, com ênfase na aplicação de minerais industriais e de rochas ornamentais. Tem como objetivo principal difundir os resultados das investigações técnico-científicas decorrentes de projetos desenvolvidos no CETEM e em parceria com outras instituições de PD&I.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Valéria Cristina de Souza

Coordenação Editorial

Caroline da Costa Gonçalves

Editoração Eletrônica

Paulo Fernando Almeida Braga

Revisão

Braga, Paulo Fernando Almeida

Areia de fraturamento hidráulico: usos, características, mercado e perspectivas / Paulo Fernando Almeida Braga [et al.]. —Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2017.

54p.: il. (Série Rochas e Minerais Industriais, 20)

1. Gás não convencional. 2. Fraturamento hidráulico. 3. Areia. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Braga, Paulo Fernando Almeida. III. Lima, Francisco R. de Souza. IV. Coelho, José Mário. V. Gonçalves, Caroline da Costa. VI. Título. VII. Série.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVO	15
3 MATERIAIS PROPANTES	16
4 ENSAIOS DE CERTIFICAÇÃO	20
4.1 Análise Granulométrica	20
4.2 Esfericidade e Arredondamento	21
4.3 Solubilidade em Ácido	22
4.4 Turbidez	22
4.5 Densidades <i>Bulk</i> , <i>Aparente</i> e <i>Absoluta</i>	23
4.6 Ensaios de Resistência ao Esmagamento	23
5 PRODUÇÃO DE PROPANTES	25
6 MERCADO	31
7 EXPERIMENTAL	36
7.1 Áreas Alvo e Materiais Caracterizados	36
7.2 Metodologia	41
8 RESULTADOS	42
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

RESUMO

A descoberta de grandes reservas de gás não convencional, geraram expectativas de mudanças no mercado mundial de energia. Estes podem ser extraídos por meio de uma injeção de alta pressão no poço perfurado na rocha hospedeira, utilizando uma mistura de água, propantes e compostos químicos para produzirem fraturas as quais permitam a liberação do gás. Os principais materiais usados como propantes na indústria petrolífera são as areias silicosas e produtos cerâmicos com alto teor de alumínio. Após o primeiro leilão, para exploração de gás não convencional, realizado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) e com o arremate de 72 blocos em cinco bacias sedimentares, houve grande expectativa no crescimento da demanda de materiais propantes. Amostras da bacia do Parnaíba e da região costeira do estado do Rio de Janeiro foram selecionadas para os testes de caracterização nos laboratórios do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Os ensaios em areias inconsolidadas e arenitos seguiram a norma ABNT NBR ISO 13503-2. A caracterização dessas areias visaram a distribuição granulométrica, a esfericidade e o arredondamento, a solubilidade em ácido, a turbidez, a resistência ao esmagamento, a densidade *bulk*, absoluta e aparente das amostras. Das amostras caracterizadas, verificou-se que apenas o propante 40/70 preparado com a areia da região de Carolina (bacia do Parnaíba) atinge os requisitos contidos na norma da ABNT, e apresenta potencial de uso em operações de fraturamento hidráulico.

Palavras-chave

Gás não convencional; gás de folhelho; fraturamento hidráulico; propante; areia.

ABSTRACT

The discovery of large unconventional gas reserves has generated expectations of changes in the global energy market. The gas can be extracted by the high-pressure injection of a mixture of water, proppants and chemicals into the well, drilling the host rock to produce fractures and consequently allowing the release of the gas. The main materials used as proppants, in the oil industry, are the siliceous sands and ceramic products with high aluminum content. After the first auction, for areas of unconventional gas exploration, conducted by the National Petroleum Agency (ANP) and the acquisition of 72 blocks in five sedimentary basins, there was a great expectation about the increase of demand for proppant materials. Samples of the Parnaíba Basin and the littoral region of Rio de Janeiro State were selected for the characterization tests in the laboratories of the Center for Mineral Technology (CETEM). The tests in inconsolidated sands and sandstone were carried out according to ABNT NBR ISO 13503-2 norm. The tests determined the size distribution, particle sphericities and roundness, acid solubility, turbidity, proppant crush resistance, bulk density, apparent density and absolute density of samples. According to the tests, only the proppant 40/70 of Carolina (Parnaíba Basin) respect all requirements presented in ABNT norm, and can be used for hydraulic fracturing proposes.

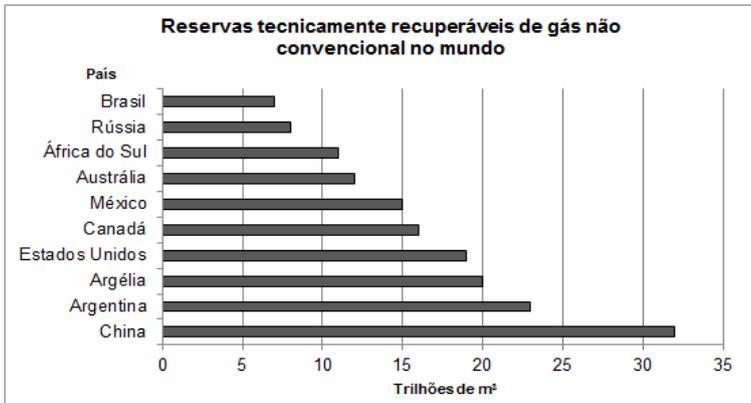
Keywords

Unconventional gas; shale gas; hydraulic fracturing; proppant; sand.

1 | INTRODUÇÃO

A descoberta, em diversas regiões do mundo, de grandes reservas de gás não convencional tem gerado expectativa de relevantes mudanças no mercado mundial de energia. Países tradicionalmente importadores de gás natural passaram a vislumbrar possibilidades de se tornar autossuficientes ou mesmo exportadores de gás.

Na Figura 1 estão expostos os dados dos 10 principais países, os quais possuem as maiores reservas tecnicamente recuperáveis de gás não convencional no mundo. Note-se que o Brasil possui recursos de gás não convencionais estimados em 7 trilhões de metros cúbicos, ocupando a décima colocação (EIA, 2013).



Fonte: Adaptado de EIA, 2013.

Figura 1. Reservas tecnicamente recuperáveis de gás não convencional no mundo.

No Brasil, os recursos não convencionais já mapeadas são significativos. Localizados em terra, estes novos recursos poderão desenvolver o mercado de gás natural do país.

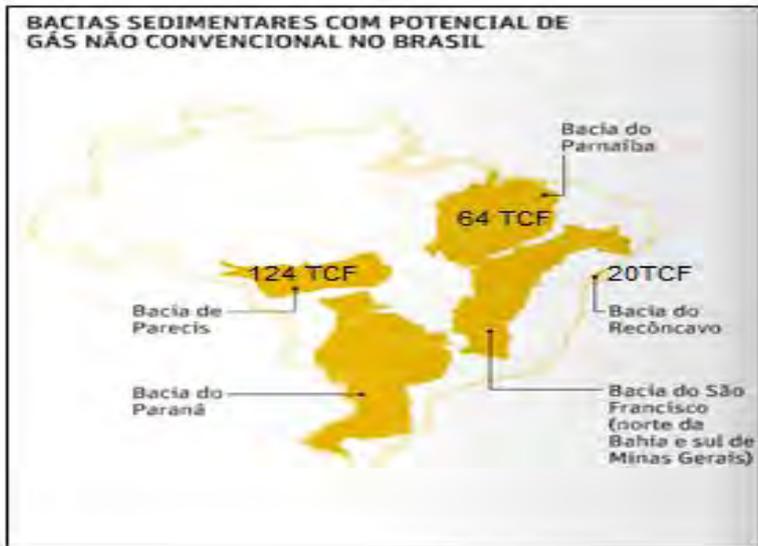
O potencial do gás natural não convencional no Brasil é estimado em cerca de 208 trilhões de pés cúbicos (Tcf) considerando somente as bacias do Parecis (MT), Parnaíba (MA, PI e TO) e Recôncavo (BA) (COLELA, 2013).

Além disso, de acordo com EIA (2013), considerando as bacias do Paraná, Solimões e Amazonas, o Brasil possui 245 Tcf e 5,4 bilhões de barris de reservas tecnicamente recuperável de gás e petróleo não convencional.

Em novembro de 2013, a Agência Nacional do Petróleo (ANP) realizou o primeiro leilão para exploração de gás não convencional, como o gás de folhelho, com foco em gás em terra. De um total de 240 blocos ofertados em sete bacias, 72 blocos foram arrematados em cinco bacias sedimentares (Parnaíba, Recôncavo, Paraná, Acre e Sergipe-Alagoas).

Na Figura 2 tem-se as principais bacias terrestres com potencial de exploração de gás não convencional no Brasil. Os blocos contidos nas bacias dos Parecis e São Francisco não receberam qualquer oferta. A partir de então, nenhum leilão foi realizado para exploração de gás não convencional no país.

De maneira geral, gases não convencionais são aqueles produzidos a partir de rochas tradicionalmente consideradas incapazes de produzir volumes comerciais de hidrocarbonetos. As acumulações convencionais produzem gás a partir de rochas porosas e permeáveis, tais como arenitos e carbonatos. Acumulações não convencionais, por outro lado, produzem volumes de gás a partir de arenitos fechados e não permeáveis (*tight gas*), de rochas finas como folhelhos (*shale gas*), de carvão mineral (*coalbed methane*), ou de arenitos e carbonatos fechados, mas extremamente fraturados (ZALAN, 2012).



Fonte: Colela, 2013.

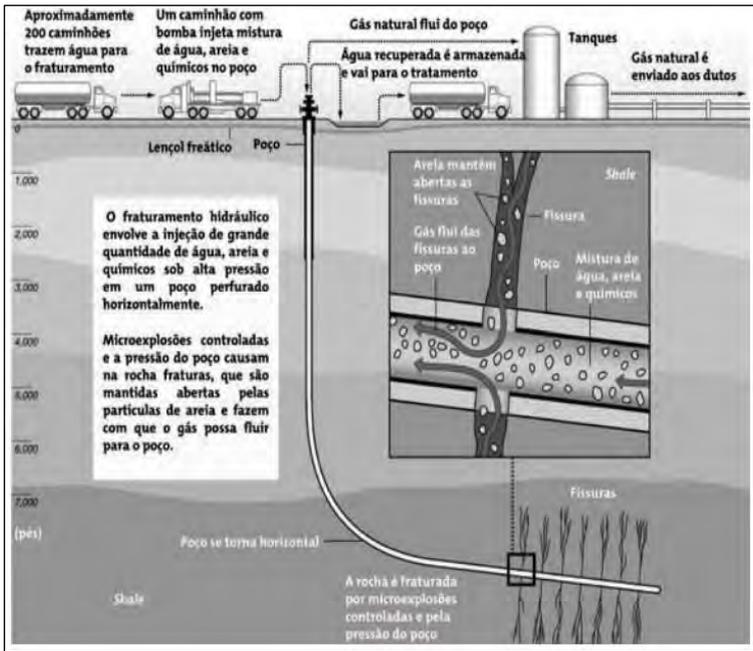
Figura 2. Bacias de gás não convencional no Brasil, com dados de potencial (em Tcf) para as Bacias do Parnaíba, Parecís e Recôncavo.

Recursos não convencionais de gás, como *tight gas* e *coalbed methane*, vêm sendo produzidos nos Estados Unidos e em outros países desde 1970. Porém, a produção de *shale gas* (gás de folhelho) foi a grande responsável pelo aumento da oferta de gás nos Estados Unidos na última década. (LAGE *et al.*, 2013). O aumento dessa produção decorreu, entre outros motivos, dos avanços nas técnicas de exploração e produção desse recurso. Todas essas técnicas já eram utilizadas na indústria do petróleo e gás natural há mais de 40 anos, todavia, os avanços em algumas tecnologias e a combinação delas para a extração do *shale gas*, em especial a perfuração horizontal e o fraturamento hidráulico, foram exitosos no aumento da produção.

Atualmente, a extração do gás não convencional (*shale gas*) está fundamentada nas etapas de sísmica 3D, preparação do terreno, perfuração vertical e horizontal, fraturamento hidráulico, gestão de resíduos e produção propriamente dita.

Para a exploração desse recurso, o método mais difundido é o fraturamento hidráulico (Figura 3), o qual consiste na injeção de uma polpa mineral e aditivos sob alta pressão (SARQUÍS, 2016). Essa pressão deve ser superior à pressão de ruptura da rocha hospedeira, causando assim fraturas que se propagarão durante o bombeamento da polpa mineral nos poços. As fissuras decorrentes do fraturamento hidráulico são mantidas abertas pelas partículas minerais (propantes) injetadas, aumentando, assim, a permeabilidade do meio e facilitando o escoamento do gás (BARATI; LIANGI, 2014). O processo de fraturamento é monitorado por microssísmica para identificação de sismicidade na área e da configuração da área fraturada (SPEIGHT, 2013).

Um dos aspectos mais debatidos é o risco da contaminação do lençol freático por gás e/ou pelos fluidos de perfuração. A preocupação está na geração das fraturas artificiais, as quais possam interceptar aquíferos, permitindo que fluidos com aditivos químicos contaminem a água. Por isso, durante a perfuração, várias camadas de cimento e revestimento são utilizadas para isolar o poço de perfuração do lençol freático (SENNA FILHO, 2013).

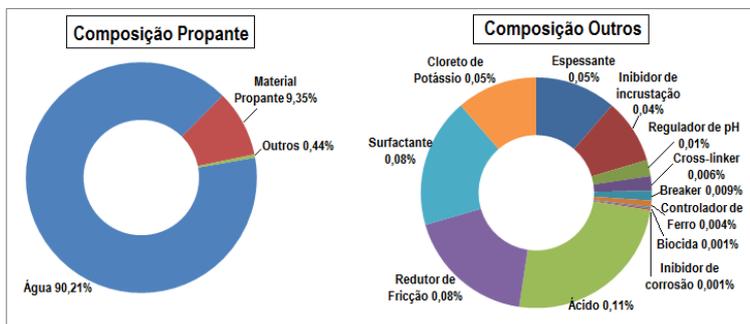


Fonte: Modificado de Lage *et al.*, 2013.

Figura 3. Processo de fraturamento hidráulico (*shale gas fracking*).

Uma operação de fraturamento hidráulico pode exigir entre 8 e 19 milhões de litros de água por poço horizontal perfurado. A cada 8 milhões de litros de água para fraturamento, tem-se cerca de 40.000 litros de águas residuais. Aproximadamente 9% do fluido injetado é material propante. Logo, usando-se 8 milhões de litros de água, há um consumo de 720 toneladas de propante por poço. Na Figura 4 são consideradas as proporções da composição geral do fluido de fraturamento hidráulico (propante) composto por água, material propante (areia ou cerâmica) e outros (aditivos químicos).

Nesse sentido, propantes são, para a indústria petrolífera, minerais industriais beneficiados utilizados na estimulação de poços de petróleo ou gás com objetivo de aumentar a sua produtividade. Os principais materiais usados como propantes na indústria petrolífera são as areias silicosas naturais ou resinadas, e produtos cerâmicos com alto teor de alumínio, como as bauxitas sinterizadas. Esses produtos são caracterizados em função de suas propriedades físicas como resistência ao esmagamento, tamanho de partículas, arredondamento e esfericidade, e densidade (CACHAY, 2004).



Fonte: Modificado de Saba, 2013.

Figura 4. Composição do fluido usado no fraturamento hidráulico.

A exploração de gás de folhelho, apesar do sucesso tecnológico e econômico apresentado, principalmente nos Estados Unidos, tem sido muito questionada pelos riscos e danos ambientais envolvidos. É preciso obter melhor conhecimento, tanto sobre as propriedades intrínsecas das jazidas e as condições de sua exploração, como das consequências ambientais dessa atividade, que poderão superar amplamente seus eventuais ganhos socioeconômicos. A ANP e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) têm um grande desafio no aprimoramento da regulamentação de gás não convencional no Brasil.

2 | OBJETIVO

Analisar o mercado de brasileiro de propantes, estimando os cenários econômico e produtivo, com base nas projeções de produção de gás de folhelho no Brasil, assim como, caracterizar amostras de jazidas brasileiras pré-selecionadas com características de material propante.

Como objetivos secundários buscou-se:

- mostrar, por meio de documentação de entidades técnico-científicas e agências governamentais de países líderes na produção de gás de folhelho, a importância deste novo componente da matriz energética mundial, apresentando as técnicas de exploração e produção do gás em folhelhos, se destaca o fraturamento hidráulico com ênfase nos propantes;
- apresentar um estudo de mercado dos propantes utilizados na produção do gás de folhelhos, a fim de estimular empresas, centros de pesquisa e agências governamentais brasileiras a investir no estudo dessa nova fronteira energética.

3 | MATERIAIS PROPANTES

Atualmente, existem três tipos principais de propantes: areia de fraturamento, areia resinada (*resin coated proppant* - RCP) e propantes de cerâmica (de caulim e de bauxita). Cada um tem suas próprias vantagens e desvantagens, e os engenheiros de petróleo decidem sobre o tipo que deve ser utilizado que é dependente da geologia, disponibilidade, preços e regulamentações governamentais.

O principal propante, a areia de fraturamento, deve conter mais de 99% de quartzo originado de arenitos ou de depósitos não consolidados com elevado teor de silício (quartzo). As partículas devem ser bem arredondadas (Figura 5) e relativamente isentas de outros minerais e impurezas (CDE do Brasil, 2014).

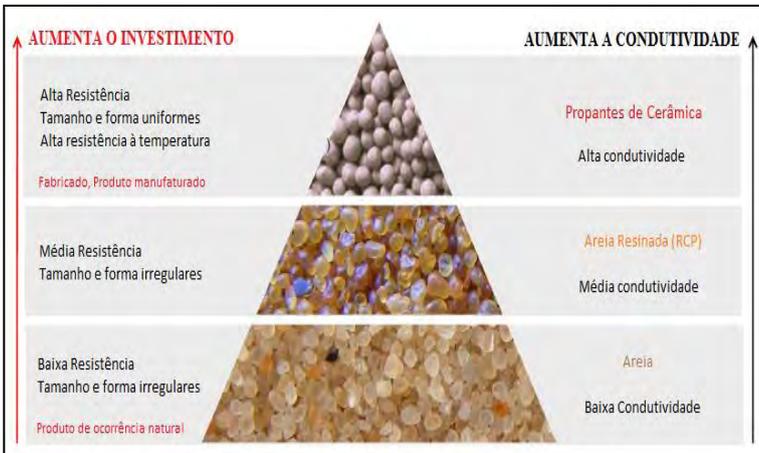


Fonte: O'Driscoll, 2013.

Figura 5. Grãos de areia do Arenito St. Peter, Ottawa, Canadá.

Já os propantes cerâmicos fornecem uma grande variedade de tamanho de grãos e densidade em comparação com a areia de fraturamento, a qual tem como vantagem o menor preço, porém com a menor condutividade (capacidade de permitir a passagem de hidrocarbonetos pelos poros em função da permeabilidade e porosidade).

As areias resinadas (RCP) e os propantes cerâmicos possuem alta qualidade e resistência, alta condutividade, porém preços mais elevados. São normalmente usados em poços de baixa permeabilidade (MARKET AND MARKETS, 2014). Na Figura 6, pode-se observar a melhor qualidade desses propantes alternativos em relação à areia natural de fraturamento.



Fonte: Modificado de Carbo Ceramics apud O’Driscoll, 2013.

Figura 6. Pirâmide das características dos principais propantes.

A operação de resinagem (revestimento com resina dos grãos de areia de quartzo) tem por objetivo duas principais funções: melhorar a resistência do grão de modo que a pressão imposta seja uniformemente distribuída e evitar o fluxo de partículas

finas para dentro do poço, advindas da fragmentação dos grãos. Na Figura 7, se pode visualizar uma amostra de areia resinada, tamanho 20/40 mesh (BECKWITH, 2011). No mercado de propantes, a granulometria do material é especificada em mesh Tyler.



Fonte: Beckwith, 2011.

Figura 7. Areia resinada tamanho 20/40 mesh (850/425 μm).

Os propantes cerâmicos, por sua vez, são produtos fabricados a partir de algum tipo de matéria-prima cerâmica, geralmente bauxita ou caulim, e são projetados para suportar altos níveis de pressão e possuem esfericidade e arredondamento relativamente uniformes.

A bauxita e o caulim são conhecidos por adquirirem grande resistência após o processo de sinterização. Esse processo ocorre em fornos sob alta temperatura, que aquecem as partículas de tamanhos específicos diminuindo o teor de água, e alterando assim, a estrutura molecular do material, tornando as partículas mais esféricas e uniformemente densas (BECKWITH, 2011).

Os propantes cerâmicos (Tabela 1) são geralmente classificados como: LWC (*Lightweight Ceramic*) – mais econômico e menos resistente, IDC (*Intermediate Density Ceramic*) – ótima combinação de preço e resistência, e HDC (*High Density Ceramic*) – projetados para suportar elevadas pressões à grandes profundidades (SAINT-GOBAIN, 2006). O HDC é produzido principalmente a partir de bauxita sinterizada. (KULLMAN, 2011).

Tabela 1. Tipos e propriedades dos propantes de cerâmica.

Propriedades		LWC	IDC	HDC
Matéria Prima		Caulim	Bauxita	Bauxita
Densidade		2,71	3,27	3,56
Teor	Alumina (%)	51,0	72,0	83,0
	Sílica (%)	45,0	13,0	5,0
	Ferro (%)	1,0	10,0	7,0
	Titânio (%)	2,0	4,0	3,5

Fonte: Carbo Ceramics apud O’Driscoll, 2013.

4 | ENSAIOS DE CERTIFICAÇÃO

No Brasil, a norma ABNT NBR ISO 13503-2 (2011), cujo título geral é “Indústrias do Petróleo e Gás Natural – Fluidos e Materiais de Completação”, é usada como método padrão na determinação das características pertinentes para a certificação de materiais propantes.

Esta norma é baseada, com modificações, nas normas do *American Petroleum Institute* (API), como API RP 56, API RP 58 e API RP 60 e visa comparar diferentes materiais ensaiados para a seleção do mais adequado.

4.1 | Análise Granulométrica

Nas especificações desse ensaio, tem-se que pelo menos 90%, em massa, da amostra de propante ensaiada deve passar na peneira mais grossa da especificação nominal e ser retida na peneira mais fina da especificação nominal.

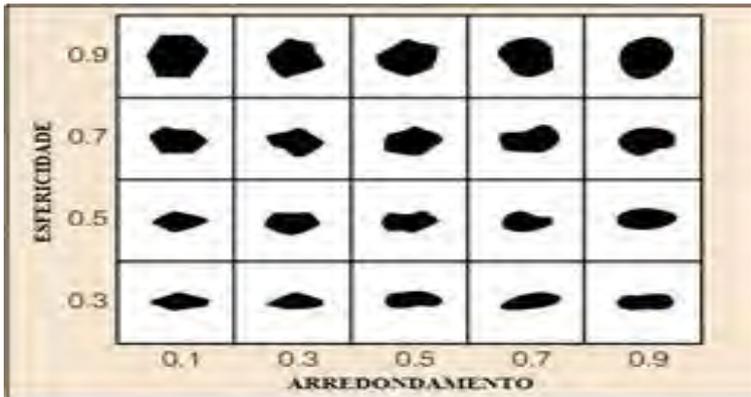
Isso significa que, por exemplo, no caso dos propantes 20/40 (-20 +40 mesh) um mínimo de 90% da amostra deve passar pela peneira de 20 mesh e ser retida na peneira de 40 mesh (ABNT, 2011). Atualmente, os principais produtos utilizados em operações de fraturamento hidráulico são os propantes 20/40 e o 40/70 (-40 +70 mesh) (CDE do Brasil, 2014). Na Tabela 2 verifica-se a correspondência das aberturas de peneira (em μm) com o tamanho do propante em mesh.

Tabela 2. Tamanho dos principais produtos propantes.

Abertura da peneira (μm)	Tamanho do propante (mesh)
850/ 425	20/40
425/ 212	40/70

4.2 | Esfericidade e Arredondamento

Esse ensaio visa avaliar e registrar a forma dos grãos do material propante com relação a sua esfericidade e arredondamento. É um método comparativo e utiliza o gráfico de Krumbein e Sloss apud Flügel (2004), para estimativa visual (Figura 7). A areia de fraturamento deve ter a esfericidade média de 0,6 ou maior e arredondamento médio também de 0,6 ou maior. No caso dos propantes à base de cerâmica a esfericidade média deve ser 0,7 (ou superior) e arredondamento médio de 0,7 ou superior (ABNT, 2011).



Fonte: Modificado de Krumbein e Sloss apud Flügel, 2004.

Figura 7. Estimativa visual de esfericidade e arredondamento.

4.3 | Solubilidade em Ácido

Este ensaio é necessário para verificar a adequação de um propante quanto ao uso em aplicações nas quais o material possa entrar em contato com ácidos ou substâncias ácidas. Para isso, usa-se uma solução com 12% p/p de HCl (ácido clorídrico) e 3% de HF (ácido fluorídrico), e com essa solução tem-se uma indicação da quantidade de materiais solúveis (carbonatos, feldspatos, óxidos de ferro, argilas, etc.) presentes no propante (ABNT, 2011).

Tabela 3. Máxima solubilidade em ácido.

Propante	Máx. Solubilidade (% em peso)
Areia de fraturamento	
Maior ou igual a 30/50 mesh	2,0
Menor que 30/50 mesh	3,0
Propantes cerâmicos e propantes revestidos com resina	7,0

Fonte: ABNT NBR ISO 13503-2 (2011).

4.4 | Turbidez

Esse procedimento visa a determinação da quantidade de partículas suspensas ou outra matéria presente no material. Os ensaios de turbidez baseiam-se na medição de uma propriedade óptica da uma suspensão preparada resultado da dispersão e absorção da luz pelo material particulado suspenso no fluido. Assim, quanto maior o valor de turbidez, maior será o número de partículas suspensas presentes. A turbidez em propantes de fraturamento não deve exceder 250 FTU (Unidades de Turbidez Formazina) (ABNT, 2011).

4.5 | Densidades *Bulk*, Aparente e Absoluta

Com a densidade *bulk*, tem-se a informação da massa de propante a qual é necessária para preencher uma unidade de volume, considerando também a porosidade; é usada na avaliação de material para o preenchimento de fraturas e tanques de armazenamento.

A densidade aparente é medida com um fluido de baixa densidade que molha a superfície da partícula, considerando a porosidade inacessível ao fluido. Já a densidade absoluta não considera a porosidade que pode estar no propante, nem seus espaços vazios (ABNT, 2011).

4.6 | Ensaios de Resistência ao Esmagamento

Este ensaio tem como objetivo determinar a quantidade de propante esmagado (% em massa), após sua submissão a uma determinada pressão (ABNT, 2011). É realizado com amostras peneiradas, pois as partículas ensaiadas devem estar dentro da faixa de tamanho especificada (por exemplo, 20/40). Assim, a cada nível de tensão, a quantidade de propante é aferida, possibilitando a avaliação em qual deles o material é excessivamente esmagado e qual a tensão máxima o propante pode suportar (importante para poços muito profundos). Usa-se comumente uma prensa hidráulica. Na Tabela 4 são apresentadas as diretrizes para a tensão de esmagamento em propantes de areia.

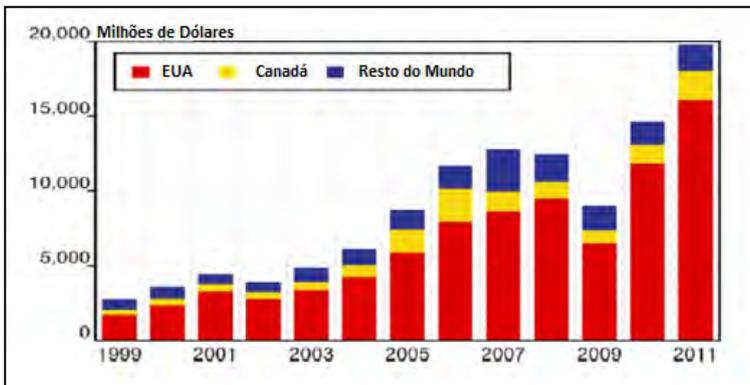
Tabela 4. Diretrizes para a tensão de esmagamento.

Propante	Tensão de esmagamento Mpa (psi)	
	Mínimo	Máximo
Propantes de Areia (fraturamento)	13,8 (2000)	34,5 (5000)
Propantes de Areia (gravel-packing)	13,8 (2000)	13,8 (2000)

Fonte: ABNT NBR ISO 13503-2 (2011).

5 | PRODUÇÃO DE PROPANTES

O mercado de fraturamento hidráulico está concentrado principalmente nos Estados Unidos, onde o aumento da demanda por areia de fraturamento foi resultado da crescente exploração de gás não convencional a partir de várias formações de folhelhos em todo país. No entanto, enquanto nos Estados Unidos o mercado de fraturamento hidráulico está próximo da maturidade, o resto do mundo encontra-se em um estágio inicial, por isso a dificuldade de se obter alguns dados para esse mercado em outros países (Figura 8).

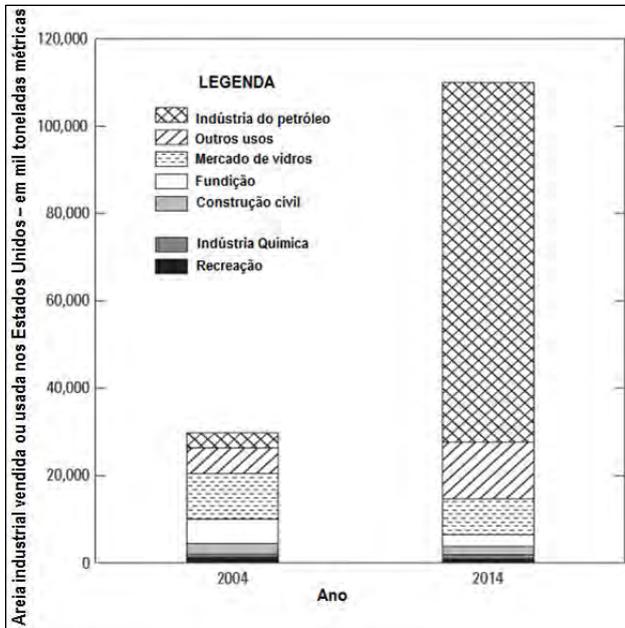


Fonte: Economides apud O'Driscoll, 2013.

Figura 8. Mercado mundial de fraturamento hidráulico.

Sendo assim, os Estados Unidos são também o principal produtor de areia industrial com base na estimativa da produção mundial. Em 2013, a areia para fraturamento hidráulico representou cerca de 85% (em peso) do mercado Norte Americano, sendo usada exclusivamente em quase 75% dos poços horizontais (BENSON; WILSON, 2015).

O aumento da demanda por areia de fraturamento para suprir a produção de gás dos depósitos de folhelho levaram à melhoria na capacidade de produção e abertura de inúmeras novas minas nos Estados Unidos (BENSON; WILSON, 2015). Tem-se, portanto, o aumento do consumo de areia industrial na indústria petrolífera em relação aos outros usos, comparando-se os anos de 2004 e 2014 (Figura 9). O uso da areia como areia de fraturamento hidráulico aumentou 24 vezes de 2004 para 2014 (DOLLEY, 2014).



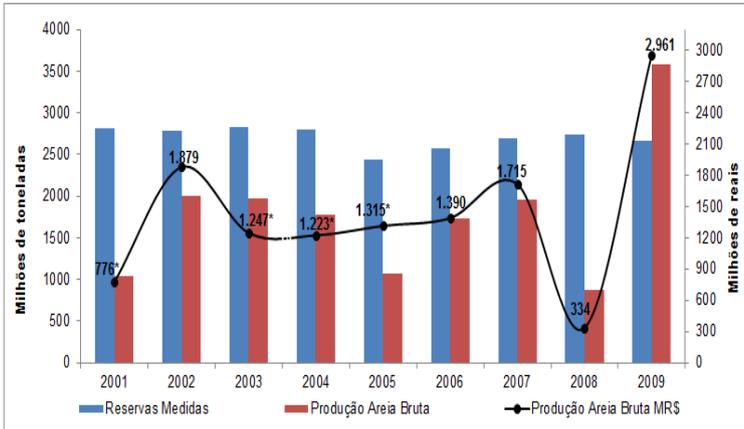
Fonte: Modificado de DOLLEY, 2014.

Figura 9. Comparação dos principais usos para a areia industrial nos EUA nos anos de 2004 e 2014.

Com relação à produção de propantes alternativos, o mercado de areia resinada (RCP), cujos volumes são praticamente os mesmos para propantes de cerâmica, é baseado principalmente em indústrias norte americanas como Santrol Propantes e Momentive que dominam o mercado. Já para propantes de cerâmica, os fabricantes estão espalhados pelo mundo: CARBO Ceramics e Saint-Gobain com operações internacionais e nos EUA, Mineração Curimbaba no Brasil, Fores e Borovich na Rússia, e uma série de fabricantes no extremo oriente, principalmente na China (BECKWITH, 2011).

No mercado mundial de propantes para fraturamento hidráulico, ainda predomina o uso da areia natural (80%). Esse domínio é devido principalmente ao fator preço, não obstante as areias resinadas (10%) e os propantes de cerâmica (10%) possuem maior qualidade e resistência (O'DRISCOLL, 2013).

No Brasil, segundo dados mais recentes do Anuário Mineral do DNPM, as reservas medidas de areia industrial em todo o País superam 2,5 bilhões de toneladas (Figura 10), concentrando-se principalmente nas regiões Sul e Sudeste, onde estão localizadas as maiores jazidas e minas em operação. Entretanto, as estatísticas brasileiras sobre areia industrial, por sua vez, não são satisfatórias ou estão defasadas.



Fonte: Anuário Mineral DNPM, 2002 a 2010.

Nota: *valores da produção bruta R\$ multiplicados por 100;

**valores da produção bruta divididos por 100.

Figura 10. Evolução das reservas medidas e produção de areia industrial bruta (em quantidade e valor) – período de 2001 a 2009.

Seguindo uma tendência internacional, o parque produtivo no País encontra-se relativamente concentrado, sendo que as dez maiores empresas são responsáveis por mais de 80% do material explorado, sendo 65% da produção efetuada por empresas multinacionais (RUIZ *et al.*, 2013).

Paralelamente à expansão da produção de areias industriais ocorreu uma descentralização da mineração, comandada por áreas com demandas emergentes, caso das regiões Sul, Nordeste e Centro-Oeste (Figura 11). Isso se deve em parte pelo aumento da demanda por areia industrial no País, ditada principalmente pelos setores da construção civil (36%), sobretudo pelos segmentos de argamassas, vidreiro (24%) e fundição (24%), que juntos perfazem 84% do seu consumo.

Os demais 16% correspondem a um número expressivo de segmentos industriais, destacando-se pelo maior consumo as indústrias cerâmica, cimenteira, e de ferro-ligas, e o uso como material filtrante.

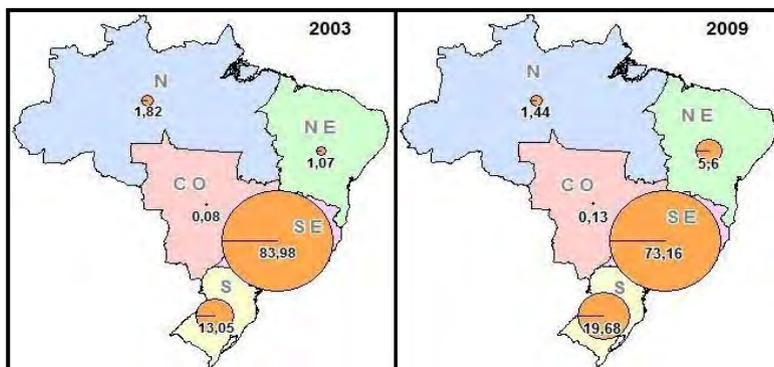
Tabela 5. Participação na produção nacional comercializada pelas principais empresas produtoras de areia industrial em 2009.

Empresas	UF ¹	Participação (%) ²
Mineração Jundu Ltda.	MG, SC, SP	45,23
Mineração Descalvado Ltda.	SP	10,36
Unimin do Brasil Ltda.	SC	5,73
Mineração Veiga Ltda.	SC	4,74
Saint-Gobain do Brasil Ltda.	MG, SP	4,69
Empresa Brasileira do Quartzo Ltda.	BA, MG	2,89
Empresa de Mineração Elias João Jorge Ltda.	SP	2,58
Votorantim Cimentos N/NE S.A.	CE, PB	2,45
Darcy R. O. e Silva & Cia. Ltda.	SP	2,33
Curupi Mineração S.A.	RJ	2,01

¹ Unidade da Federação onde ocorreu a comercialização e/ou consumo da produção bruta e/ou beneficiada.

² Participação percentual da empresa no valor total da comercialização da substância.

Fonte: DNPM, 2010.



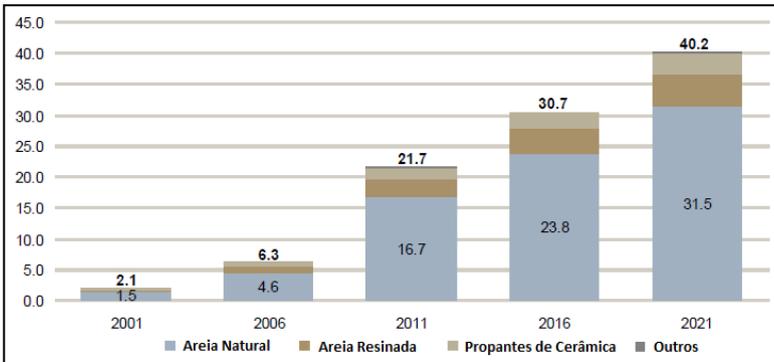
Fonte: Anuário Mineral DNPM, 2004 a 2010.

Figura 11. Evolução da produção de minerais industriais por regiões em 2003 e 2009 (%) – em valor.

6 | MERCADO

Os Estados Unidos são hoje, o país com maior capacidade tecnológica para a exploração, desenvolvimento e produção de reservas de gás não convencionais, tendo essa nova produção reduzido o preço do gás natural convencional americano. Essa nova oferta já impacta o mercado americano, intensificando o uso do gás na matriz energética e criando oportunidades, por meio de maiores vantagens competitivas.

Além disso, observa-se, mundialmente, a procura por novas e alternativas fontes de recursos energéticos, como o gás não convencional. Concomitante a essa realidade, e com relação ao consumo de material propante para o uso no fraturamento hidráulico, nos Estados Unidos, verifica-se uma tendência ascendente até 2021 (Figura 12).



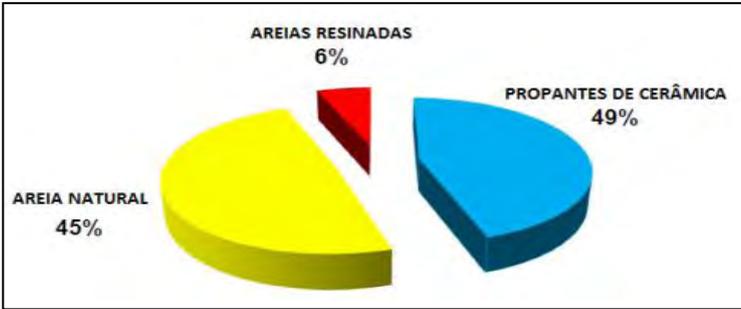
Fonte: Hi-Crush Partners LP, 2012.

Figura 12. Consumo de propantes por quantidade (10^6 t).

O crescimento do consumo de propantes é comandado pelo aumento do número dos poços horizontais que são submetidos ao fraturamento, acompanhado do aumento quantidade de propantes usada por poço. Ressalta-se que várias empresas usam até cerca de 10.000 toneladas de areia de fraturamento para um poço.

O aumento da demanda por areia de fraturamento provocou a abertura de inúmeras minas nos Estados Unidos. No Brasil, após 12ª Rodada de Licitações da ANP, há também uma expectativa no que tange a abertura de novas minas, fomentando esse setor no país. Isso porque, as bacias do Parnaíba e do Paraná, além de outros depósitos eólicos recentes, apresentam um grande potencial para produção de areia de fraturamento. Especificamente na bacia do Parnaíba, as unidades geológicas com maior potencial para exploração de areia de fraturamento são arenitos de origem eólica de três formações: Formação Piauí, Formação Pedra de Fogo e Formação Sambaíba.

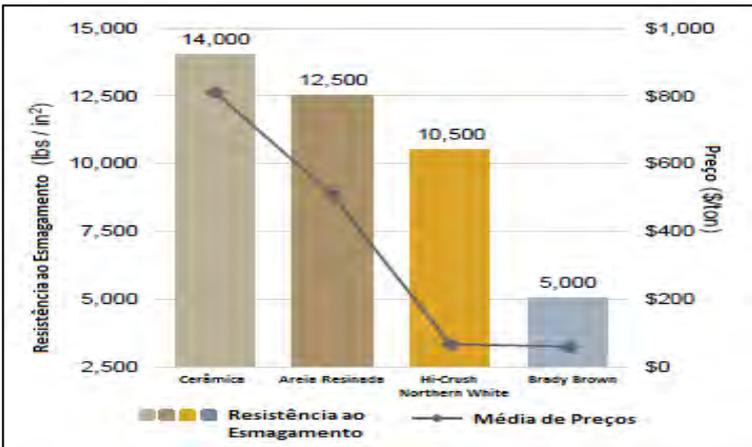
Sobre a produção de propante de cerâmica, sabe-se que em 2013, a Mineração Curimbaba produziu 284 mil toneladas de propante de bauxita (MINERAÇÃO, 2014). Em alguns casos o uso de propantes cerâmicos é necessário por propiciar uma maior permeabilidade para a produção do poço. Apesar de perder em volume para areia natural no consumo, o mercado de propantes cerâmicos possui um maior valor por causa do maior preço desse produto (Figura 13).



Fonte: Freedonia apud O'Driscoll, 2013.

Figura 13. Divisão do mercado de propantes por valor.

Os preços da areia de fraturamento dependem da qualidade dos grãos (tamanho, arredondamento e esfericidade, resistência ao esmagamento, etc.) e outras condições de mercado. A resistência ao esmagamento (Figura 14), por exemplo, é fator um determinante no preço de um propante.



Fonte: Hi-Crush Partners LP, 2012.

Figura 14. Relação entre o preço do propante e a resistência ao esmagamento.

Na Tabela 6 são apresentados alguns preços praticados nos EUA.

Tabela 6. Preços (FOB) para areia de fraturamento em dólares por tonelada.

Localização	Tamanho	Preço (US\$/t)
Sudeste de Arkansas	40/70	60
Leste de Ohio	40/70	85
Noroeste de Wisconsin	20/40	110
Shreveport, Luisiana	20/40	145
Luisiana, Texas	20/40	195
Dakota do Norte	20/40	200

Fonte: O'Driscoll, 2013.

Para os propantes cerâmicos, o valor de investimento é bem superior se comparado ao da areia, e possui também uma menor taxa de produção. Entretanto, o preço de venda pode compensar o investimento inicial em termos de retorno (Tabela 7).

Tabela 7. Comparação dos investimentos nas plantas de produção de areia e cerâmica.

	Areia de Fraturamento	Propante de Cerâmica
Taxa de Produção	150 t/h	25 t/h
Produção Anual	1.000.000 t/ano	175.000 t/ano
Preço (US\$)	70/t	1.200/t
Retorno (10 ³ US\$)	70	200
Investimento (10 ³ US\$)	35	100

Fonte: AJ DeCenso e M-I Swaco apud O'Driscoll, 2013.

As areias de 20/40 e 40/70 estão consagradas no cenário mundial quanto aos seus usos, mas tem-se o crescimento da demanda da areia de 100 mesh para a produção de petróleo e gás. Vale ressaltar que até agora, o material dessa granulometria (100 mesh) era considerado rejeito.

7 | EXPERIMENTAL

7.1 | Áreas Alvo e Materiais Caracterizados

A etapa preliminar para escolha das áreas alvo para seleção e coleta de material com potencial propante foi precedida por uma análise de trabalhos técnicos, teses e relatórios sobre o assunto. Além disso, foram consultadas fontes de informação geológica e do setor mineral como o Serviço Geológico Brasileiro (CPRM) e o Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM) com o intuito de coletar informações sobre os sítios amostrados. Foram investigados ambientes geológicos de bacias sedimentares mistas, cordões litorâneos, planícies de inundações e unidades metamórficas contendo quartzito.

Após essa primeira etapa, uma nova consulta foi direcionada aos órgãos governamentais como o CPRM, o DNPM e a consultores externos, para a localização de ocorrências e/ou jazimentos de areia com gênese diversa e potencialidade de uso no processo de fraturamento hidráulico na Bacia do Parnaíba (quatro áreas), abrangendo os estados do Maranhão, Tocantins e Piauí, e no litoral do estado do Rio de Janeiro (três áreas). No total foram coletadas oito amostras, sendo duas delas em Carolina-MA (em profundidades diferentes). O local das áreas alvo onde foram coletadas as amostras e o processo de pesquisa e lavra, estão descritas a seguir (Tabela 8).

Tabela 8. Descrição das amostras.

Amostra	Nome	Localização	Processo DNPM
1	Cotunduba (C)	Rio de Janeiro/RJ	A concessão de lavra da área pertence à empresa Minerari – Mineração e Comércio Ltda (Processo DNPM 890.535/1991).
2	Amapá (A)	Rio de Janeiro/RJ	O requerimento de lavra da área foi solicitado pela Sofaraxá Ltda (Processo DNPM 890.105/2002).
3	Tamoios (T)	Rio de Janeiro/RJ	A concessão de lavra da área pertence à empresa Mirancoop - Cons., Informática, Estudos Geo-ambientais e Representações Ltda (Processo DNPM 890.344/2008).
4	União (U)	União/Piauí	Área não onerada
5	Floriano (F)	Floriano/Piauí	Área não onerada
6	José de Freitas (JF)	José de Freitas/Piauí	Área não onerada
7	Carolina (CS e CP)	Carolina/Maranhão	A concessão de lavra da área pertence à empresa Mineração Santo Expedito (Processo DNPM 806.085/2013)

Abaixo, tem-se as características geológicas dos locais de coleta.

Cotunduba: Areia siliciclástica, submersa na plataforma continental interna, adjacente à barra da Baía de Guanabara próxima a Ilha de Cotunduba, Rio de Janeiro, RJ. A jazida é

constituída de sedimentos aluvionares em planície de inundação da Bacia do Sistema Lagunar de Cabo Frio e adjacências. São provenientes do intemperismo, erosão das rochas cristalinas do pré-cambriano, e associados aos eventos de transgressão e regressão marinha.

Amapá: Areia oriunda de sedimentos aluvionares da planície de inundação da bacia Xerém, na estrada Barão do Amapá, Duque de Caxias, RJ. A jazida é formada por sedimentos aluvionares em planície de inundação da Bacia Xerém-Amapá-Belford Roxo provenientes do intemperismo, erosão das rochas cristalinas do pré-cambriano, também associados aos eventos de transgressão e regressão marinha.

Tamoios: Areia oriunda de sedimentos aluvionares da planície de inundação da bacia do sistema lagunar de Cabo Frio, distrito de Tamoios, Cabo Frio, RJ. Trata-se de um banco de areia siliciclástica, submerso na plataforma continental interna, adjacente à Baía de Guanabara. Tem 200 hectares estando localizada a cerca de 1,7 km à leste do litoral carioca (Praia Vermelha) e 2,8 km à oeste do litoral Niteroiense (Praia do Forte Imbuí). Situa-se também no lado leste da Ilha de Cotunduba, estendendo-se para norte e sul desta. No modelo geológico que explica a formação desses depósitos arenosos, foi prevista uma acumulação de grandes espessuras de areia, proveniente da plataforma continental, que foi empilhada em direção à costa durante a transgressão marinha holocênica. Este processo, observado nos últimos milhares de anos, propiciou a formação de cordões litorâneos transgressivos emersos, como por exemplo, as restingas de Marambaia, Araruama e Quissamã. O grande banco arenoso que se instalou ao largo da saída da barra, em profundidades

de 13 a 20 m, representa um depósito análogo aos cordões arenosos emersos (restingas ou barreiras). A profundidade máxima das sondagens, por jateamento hidráulico, atingiu o limite da espessura prevista para extração (6 m) comprovando o pacote arenoso em sub-superfície. Os registros sísmicos corroboraram a existência de um depósito homogêneo de areia com espessura superior a dez metros.

União: Arenito fino de geometria sigmoidal da formação Piauí, localizado na Estrada PI-112, 14 km ao sul de União, PI. Em União/PI foram verificados bancos de arenitos róseos, com estratificação cruzada acanalada estão amplamente distribuídos na parte inferior da formação, e indicam o predomínio das deposições subaéreas. Os arenitos róseos são recobertos por folhelhos vermelhos, que intercalam marcas de onda e gretas de ressecamento. Ocorrem na parte central da bacia, e são interpretados como de origem lagunar ou lacustre. A amostragem foi feita na Estrada PI-112, 14 km ao sul de União/PI, e os arenitos finos de geometria sigmoidal mostram que a sedimentação é encerrada com frentes deltaicas que penetram no sistema lacustre.

Floriano: Arenito róseo de granulação fina da formação Pedra de Fogo, Rodovia BR-343, km 532, próximo à cidade de Floriano, PI. A sequência sedimentar é iniciada por arenitos róseos de granulação bimodal, com estratificação cruzada de grande porte, configurando dunas gigantes com base plana. Intercalam na base níveis de oncólitos no topo arenitos róseos de granulometria fina com esteiras algáticas. No topo, os arenitos de granulação fina são vermelhos e intercalados com argilitos vermelhos. Os arenitos apresentam acamamentos lenticulares, gretas de dissecação, estruturas sigmoides de baixos arenosos e baixos de maré. Esses arenitos róseos de

granulação fina intercalam esteiras algálicas e níveis de estromatólitos. Nessa área, da Formação Pedra do Fogo, foi coletada uma amostra na Serra das Araras, Rodovia BR-343, km 532.

José de Freitas: Arenito de origem eólica lagunar da formação Piauí, localizado na cidade de José de Freitas, PI. A sedimentação na região foi iniciada com camadas de arenitos róseos de cor avermelhada e arroxeadas, com grãos foscos, estratificações cruzadas acanaladas, estratificação cruzada de grande escala, com as lâminas em ângulos agudos com a superfície horizontal. As superfícies de acamamento são de base quase horizontal. São interpretadas como deposição de duna eólica, que intercalam estratificações plano-paralelas, que são interpretadas como sedimentação interdunas. Nessa região da Formação Piauí, a amostragem foi realizada na própria cidade de José de Freitas/PI, junto à torre da Telepisa. Este local é uma área de preservação ambiental conhecida como Memorial do Fidié.

Carolina: A região de Carolina/MA está localizada no domínio da Serra da Madeira. Os depósitos do tipo areias inconsolidadas do terciário-quadernário ocorrem na região como vestígios litológicos da Formação Sambaíba, que foram erodidos a partir das grandes formações areníticas, cujo caráter de distribuição horizontal e vertical pode ser observado por toda a região. A coleta desta amostra foi na Rodovia BR 230, próximo ao km 591.

7.2 | Metodologia

Todas as etapas dos ensaios descritos na norma ABNT NBR ISO 13503-2 foram seguidas a fim de se determinar as características e parâmetros (análise granulométrica; esfericidade e arredondamento; solubilidade em ácido; densidade *bulk*, aparente e absoluta; e resistência ao esmagamento) pertinentes para a certificação das areias e arenitos como material propante. Foram utilizados os seguintes equipamentos: peneirador Rotap; série de peneiras ASTM; balança analítica; picnômetro de vidro; picnômetro a gás hélio Micromeritics, modelo AccuPyc 1330; célula de esmagamento (diâmetro 50,8 mm); prensa FLUXANA (Vaneox® Technology) automática de 40 toneladas; quarteador Jones e amostradores diversos; turbidímetro 2100P Hach Company.

A solubilidade em ácido também foi realizada segundo norma ABNT supracitada, na qual a digestão da amostra foi feita em solução 12:3 HCl:HF (p/p). A estimativa visual de esfericidade e arredondamento foi realizada com auxílio do gráfico de Krumbien/Sloss e lupa binocular com aumento de 30 vezes (ABNT, 2011).

8 | RESULTADOS

Os dados contidos na Tabela 9 correspondem à distribuição granulométrica das diversas amostras de areias/arenitos caracterizadas. Nas tabelas e figuras que seguem, T refere-se à Tamoios, A à Amapá, C à Cotunduba, CS refere-se à Carolina Superfície, CP à Carolina Profunda (amostra coletada no mesmo ponto de CS em uma profundidade de aproximadamente 50 cm), F à Floriano, JF à José de Freitas e U à União. Os materiais caracterizados devem possuir as especificações dos principais produtos utilizados atualmente em operações de fraturamento hidráulico, que são os propantes 20/40 (-20+40 mesh) e o 40/70 (-40+70 mesh).

Verifica-se que as amostras de areias de origem aluvionar e/ou de regiões costeiras (Tamoios, Amapá e Cotunduba), assim como as areias inconsolidadas de Carolina, apresentam uma granulometria mais grosseira que os arenitos de origem eólica lagunar (Floriano, José de Freitas e União). Tem-se, portanto, o aproveitamento do depósito em função do produto propante para cada uma das amostras (Figura 15).

Com excessão de Tamoios e Amapá, praticamente todas as amostras possuem bom potencial para a produção do propante 40/70. Entretanto, os depósitos de Carolina e Cotunduba apresentam resultados consideráveis para ambos (20/40 e 40/70). Sendo assim, pode-se inferir, de modo geral, que os arenitos teriam um melhor aproveitamento como propante 40/70.

Tabela 9. Distribuição granulométrica das amostras de areias/arenitos.

Peneira (ASTM)	% Retida							
	T	A	C	CS*	CP**	F	JF	U
4	1,06	7,45	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	1,04	8,04	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	2,22	9,96	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	4,19	10,12	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	4,58	4,96	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	8,58	8,37	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	12,94	6,47	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	14,06	6,91	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	8,60	3,93	1,87	0,00	0,00	0,03	0,01	0,02
25	13,46	7,59	6,96	0,86	0,55	0,07	0,08	0,02
30	3,57	5,26	7,67	2,50	2,63	0,07	0,28	0,12
35	3,52	3,65	24,30	10,45	4,99	0,23	0,66	0,37
40	2,05	2,09	18,97	7,92	12,33	0,61	1,01	0,52
45	2,59	3,50	11,82	18,39	13,38	3,13	1,80	1,79
50	1,74	1,89	10,09	17,88	9,82	8,14	5,61	4,92
60	2,19	2,27	7,40	14,26	9,40	17,84	12,32	16,74
70	1,49	1,27	2,82	5,33	5,14	11,08	7,81	10,80
80	2,43	1,38	1,97	7,13	9,85	16,81	9,61	19,94
100	2,45	1,25	0,51	4,65	6,40	8,47	7,81	11,23
120	3,27	0,94	0,16	4,90	11,25	10,73	13,71	14,51
140	1,50	0,58	0,07	3,88	7,30	4,85	13,02	5,96
200	2,04	0,83	0,00	0,00	4,46	4,53	10,42	4,05
-200	0,43	1,27	0,00	1,84	2,50	13,41	15,86	9,01

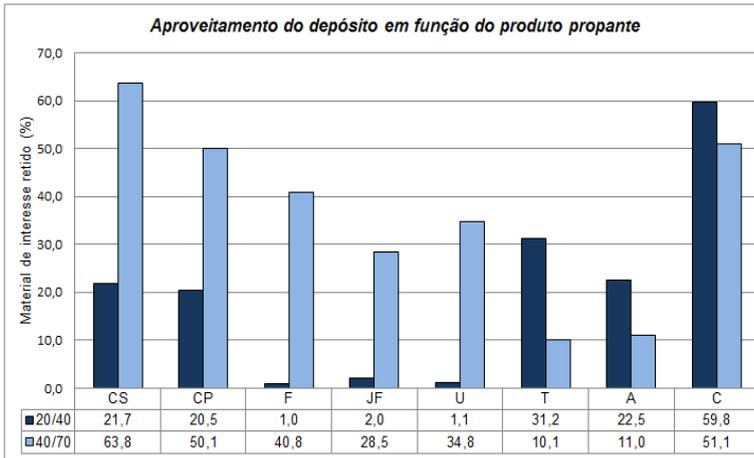


Figura 15. Aproveitamento do depósito em função dos propantes mais utilizados atualmente.

A partir dos resultados da distribuição granulométrica, conjugada com um melhor aproveitamento do depósito, conforme dados da Tabela 9, foram preparadas amostras de material propante nas granulometrias 20/40 e 40/70. A Tabela 10 apresenta as principais propriedades físicas das amostras de propantes preparadas com areias e arenitos.

As amostras de José de Freitas e Tamoios não apresentaram resultados satisfatórios em nenhum dos quesitos ensaiados, com exceção da turbidez. Apesar das amostras de Floriano e de União se adequarem às especificações máximas de solubilidade em ácido e turbidez, tem-se que os resultados das demais propriedades, como esfericidade/arredondamento e esmagamento não respondem as exigências da norma ABNT NBR ISO 13503-2.

Tabela 10. Propriedades físicas das amostras de propantes analisadas.

NORMA ABNT 13503-2 Especificações Máx.	Esfericidade/ Arredondamento	Solubilidade em Ácido (%)	Turbidez (NTU)	Esmagamento (%)
	≥0,60 / ≥0,60	3,00	250,00	10,00
T (20/40)	0,59/0,40	5,4	232,0	36,4
A (20/40)	0,65/0,30	2,1	18,4	47,1
C (20/40)	0,60/0,50	2,6	3,9	58,8
CS (20/40)	0,70/0,80	1,4	7,0	20,4
CS (40/70)	0,60/0,80	0,2	7,5	10,8
CP (20/40)	0,70/0,80	1,0	11,0	18,7
CP (40/70)	0,60/0,70	0,1	35,5	7,7
F(40/70)	0,70/0,50	1,9	27,6	16,6
JF (40/70)	0,80/0,30	5,9	28,1	17,6
U (40/70)	0,70/0,40	0,0	18,6	27,9

No caso das areias de Carolina/MA, todos os quatro propantes preparados e ensaiados apresentaram bons resultados para esfericidade e arredondamento, solubilidade em ácido e turbidez. Entretanto, com relação a resistência ao esmagamento, apenas o propante 40/70 de CP respeita a especificação máxima descrita na norma supracitada, atual e vigente, isto é, ABNT NBR ISO 13503-2.

Cabe ressaltar, que essa norma encontra-se em revisão sobre o parametro “resistência ao esmagamento”. Essa revisão diz respeito, provavelmente, sobre qual a carga geraria 10% ou mais de perdas e não mais sobre a perda gerada com uma carga pré-determinada.

Os valores das densidades, para as amostras ensaiadas podem ser verificados na Tabela 11. Não há variação significativa nos resultados de densidade absoluta para areias e arenitos. Porém, para as densidades *bulk* e aparente, de acordo com o tipo de amostra ensaiada, houve uma distinção de valores considerável. Esse fato pode estar relacionado às diferenças de esfericidade e arredondamento das amostras ensaiadas no que tange à sua natureza (areia ou arenito).

Tabela 11. Densidades *bulk*, aparente e absoluta das amostras de propantes analisadas.

	Densidade <i>Bulk</i>	Densidade Aparente	Densidade Absoluta
CS (40/70)	1,34	2,66	2,67
CP (40/70)	1,32	2,65	2,65
F (40/70)	1,22	2,47	2,67
JF (40/70)	1,22	2,88	2,66
U (40/70)	1,2	2,61	2,67
T(20/40)	1,57	2,67	2,67
A (20/40)	1,38	1,38	2,65
C(20/40)	1,64	2,59	2,67

9 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da atual conjuntura econômica mundial, e a “corrida” pela descoberta e usos de fontes de energia não convencionais, percebe-se o aumento da demanda por materiais propantes para fraturamento hidráulico de poços de petróleo e gás, e com isso torna-se imprescindível a procura de jazidas de areia para o uso como propante no Brasil. No Brasil a exploração de gás não convencional não sofreu grandes investimentos após a 12ª Rodada de Licitações promovida pela ANP, em 2013.

No território brasileiro, as bacias do Parnaíba e do Paraná, além de outros depósitos eólicos recentes, apresentam um grande potencial para produção de areia de fraturamento. Na bacia do Parnaíba as unidades geológicas com maior potencial para exploração de areia de fraturamento são arenitos de origem eólica de três formações do Grupo Balsas: Formação Piauí, Formação Pedra de Fogo e Formação Sambaíba.

Os estudos realizados, com base em dados geológicos das áreas alvo, ofertam um indicativo de regiões onde se encontram jazidas de areia com potencial propante. As granulometrias das areias e arenitos estudados são específicas para propantes 20/40 e 40/70, respectivamente. As propriedades físicas dos arenitos, de modo geral, são superiores às das areias, principalmente em relação à resistência ao esmagamento e solubilidade em ácido. A operação de resinagem nas areias e arenitos caracterizados poderá proporcionar melhorias nas propriedades físicas, principalmente no que concerne à resistência ao esmagamento. A bacia do Parnaíba é citada em alguns

relatórios como área passiva de exploração de areias. Assim, uma boa aplicação seria o uso desses recursos como propantes de fraturamento hidráulico. No entanto, esses materiais devem seguir as especificações descritas na norma ABNT NBR ISO 13503.

Sobre as características dos materiais propantes tem-se que a esfericidade/arredondamento não pode ser melhorada através de operações de tratamento, pois são características intrínsecas do material relacionadas às suas gêneses. No entanto, as operações de resinagem podem melhorar as propriedades físicas do material, principalmente na resistência ao esmagamento. A solubilidade em ácido e a turbidez são, entretanto, características que podem ser melhoradas caso o material seja submetido a um processo de tratamento como atrição (SARQUÍS, 2016), para a retirada de materiais finos (reduzindo a turbidez), e/ou flotação, para retirada de material calcítico e minerais pesados (reduzindo a solubilidade em ácido).

Finalmente, a implantação nos laboratórios do CETEM dos procedimentos dos ensaios padrão para a averiguação da qualidade de areias, visando seu uso como material propante, apoiará as empresas responsáveis e detentoras de jazidas desse bem mineral a realizar sua caracterização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 13503-2 Indústrias do Petróleo e Gás Natural - Fluidos e Materiais de Completação. Parte 2: Medição das propriedades de propanes usados em operações de fraturamento hidráulico e gravel-packing. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- BARATI, R., LIANGI, J. T. A Review of Fracturing Fluid Systems Used For Hydraulic Fracturing of Oil and Gas Wells. *Journal of Applied Polymer Science*, Estados Unidos, vol. 131, nº 16, Ago., 2014.
- BECKWITH, R. Proppants: Where in the World. *Journal of Petroleum Technology (JPT)*, Estados Unidos, vol. 63, nº 4, Abr. 2011.
- BENSON, M. E.; WILSON, A. B. (Org.). *Frac Sand in the United States: A Geological and Industry Overview*. U.S. Geological Survey e U.S. Department Of The Interior, Estados Unidos, 2015. 88 p. (Open-File Report 2015–1107). Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/of/2015/1107/pdf/ofr20151107.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2016.
- CACHAY, L. R. S. Fluxo de Partículas de Sustentação em Poços de Petróleo Estimulados por Fraturamento Hidráulico. 2004. 132 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil), Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro. Dez., 2004.
- CDE do Brasil. *Areias de Fraturamento*. 2014. Disponível em: <<http://www.cdedobrasil.com/projects/category/14/areias-de-fraturamento>>. Acesso em: 19 out. 2014.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). *Anuário Mineral Brasileiro*. Brasília: DNPM, 2002 - 2010.

DOLLEY, Thomas P. 2014 Minerals Yearbook: SILICA [ADVANCE RELEASE]. Estados Unidos: U.S. Geological Survey (USGS), 2014. 19 p. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/silica/myb1-2014-silic.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

EIA - U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. Technically recoverable shale oil and shale gas resources: an assessment of 137 shale formations in 41 countries outside the United States. Washington DC, 2013. 726 p. Disponível em: <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/archive/2013/pdf/fullreport_2013.pdf>. Acesso em: 18 out. 2014.

FLÜGEL, E. Microfacies of Carbonate Rocks. Microfacies Of Carbonate Rocks: Springer, 2004.

HI-CRUSH Partners LP. Company Overview. 2012. Disponível em: <<http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=0CGkQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fphx.corporateir.net%2FExternal.File%3Fitem%3DUGFyZW50SUQ9NDgwNjQ3fENoaWxkSUQ9NTE0NTMxfFR5cGU9MQ%3D%3D%26t%3D1&ei=oauYU5y8N8G3yASDhIHQBg&usg=AFQjCNFwCn-Xse0QJnvCl1hG3id1jldB7g&bvm=bv.68693194,d.aWw>>. Acesso em: 2 jul. 2014.

KULLMAN, J. The Complicated World of Proppant Selection. Out. 2011. Disponível em: <<http://images.sdsmt.edu/learn/speakerpresentations/Kullman.pdf>>. Acesso em 17 out. 2014.

LAGE, E.S., *et al.* Gás Não Convencional: Experiência Americana e Perspectivas para o Mercado Brasileiro. In: Petróleo e Gás. BNDES Setorial 37, p. 33-88, 2013.

MARKET AND MARKETS. Proppant Market - By Type (Fracturing Sand, Resin Coated & Ceramic Proppant) – Global Trends & Forecasts to 2017. India, Set. 2014. Disponível em: <<http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/proppant-market-802.html>>. Acesso em 20 out. 2014.

MINERAÇÃO CURIMBABA PROJETA CRESCIMENTO EM PRODUÇÃO VOLTADA À INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS. 2014. Disponível em: <<http://www.petronoticias.com.br/archives/52223>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

O'DRISCOLL, M. Proppant Prospects for Bauxite. Estados Unidos, 2013. Disponível em: <www.indmin.com/.../Proppant%20Prospects%20for> Acesso em 01 out. 2014.

COLELA, O. Reservas Brasileiras de gás convencional e potencial para gás não convencional. Brasil: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2013. 43 slides, color. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/seminario/Seminario_Gas_Nao_Convencional/olavo_colela_anp.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2016.

RUIZ, M. S., *et al.* Desafios e Perspectivas da Produção de Areia industrial. HOLOS, vol. 5, n° 29, p. 50-68, 2013.

SABA, T. Evaluating claims of groundwater contamination from hydraulic fracturing. Estados Unidos, 2013. Disponível em: <<http://www.ogj.com/articles/print/volume-111/issue-7/drilling-production/evaluating-claims-of-groundwater-contamination.html>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

SAINT-GOBAIN. Global Leader Ceramic Proppants Technology. 2006. Disponível em: <http://www.norpro.saintgobain.com/uploaded/Files/SGnorpro/Documents/Proppants16pg_0206.pdf>. Acesso em 9 out. 2014.

SARQUÍIS, P. E. *et al.* Processamiento de arenas silíceas para su uso como agentes de fracturación. In: XIII JORNADAS ARGENTINAS DE TRATAMIENTO DE MINERALES, 2016, Mendoza. Libro de las XIII Jornadas Argentinas de Tratamiento de Minerales. Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo, 2016. p. 133 - 138.

SENNA FILHO, A. A. Acumulações de Gás em folhelho (*Shale Gas*): Características e Métodos de Avaliação Recursos Potenciais. 2013. 63 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Geologia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Ago. 2013.

SPEIGHT, J.G. Shale gas production processes. Oxford: Elsevier, 2013. 162 p. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780124045712>>. Acesso em: 8 out. 2014.

ZALAN, P. V. O Potencial Petrolífero Brasileiro Além do Pré-Sal. Portal Geofísica Brasil, Set. 2012. Disponível em: <<http://www.geofisicabrasil.com/artigos/41-opinioao/4274-o-potencial-petrolifero-brasileiro-alem-dopre-sal.html>>. Acesso em: 24 nov. 2016.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2016, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 300 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

Últimos números da Série Rochas e Minerais Industriais

SRMI-19 - Caracterização Tecnológica das Rochas de Monumentos e Prédios Históricos da Terra a Noel – Vila Isabel, Rio de Janeiro, RJ. Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Kátia Leite Mansur e Diego Peixoto Vieira, 2016.

SRMI-18 - Polimento de Rochas Ornamentais – Aspectos Tribológicos. Leonardo Luiz Lyrio da Silveira e Thiago Motta Bolonini, 2016.

SRMI-17 - Beneficiamento do Sienito de Tanguá-RJ para Produção de Fertilizante Alternativo de Potássio. Adão Benvindo da Luz, Luiz Carlos Bertolino, José Mario Coelho e Ronald Sousa Armando, 2013.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ

Geral: (21) 3865-7222

Biblioteca: (21) 3865-7218

Telefax: (21) 2260-2837

E-mail: biblioteca@cetem.gov.br

Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOVAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



Missão Institucional

Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.

O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m² de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 39 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.