

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,**  
**METALÚRGICA E MATERIAIS (PPGE3M)**

**MARCOS FELIPE MAULE BEDIN**

**REMOÇÃO DA FRAÇÃO LÍQUIDA (ÓLEO E ÁGUA) PRESENTE NO RESÍDUO  
DA SERRAGEM DE ÁGATAS POR PRENSAGEM**

**PORTO ALEGRE**

**2014**

**MARCOS FELIPE MAULE BEDIN**

**REMOÇÃO DA FRAÇÃO LÍQUIDA (ÓLEO E ÁGUA) PRESENTE NO RESÍDUO  
DA SERRAGEM DE ÁGATAS POR Prensagem**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós  
Graduação em Engenharia de Minas,  
Metalúrgica e de Materiais da Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Mestre em Engenharia, modalidade  
Acadêmica**

**Orientador: Prof. Dr. Ivo André Homrich Schneider**

**Porto Alegre**

**2014**

## RESUMO

O município de Soledade é o principal polo estadual (RS) na industrialização, comercialização e exportação de ágatas. No beneficiamento da ágata, a etapa de serragem dos geodos gera um resíduo composto por óleo diesel e pó de pedra (lodo oleoso). Devido ao alto custo e pelo fato desse processo ser realizado na sua maior parte por empresas de pequeno porte e terceirizadas, o lodo oleoso é acumulado nos pátios das empresas, esperando um destino adequado. Muitas vezes, o lodo é processado com água, proporcionando a recuperação parcial do óleo, mas não evitando a geração de um lodo óleo-aquoso. O lodo estocado, contendo fluidos, é um passivo ambiental a ser resolvido dentro da cadeia produtiva de gemas e joias do Estado do Rio Grande do Sul. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar a remoção da fração líquida (óleo e água) presente no resíduo da serragem de ágatas por prensagem. A parte experimental do trabalho incluiu várias etapas. Inicialmente caracterizou-se o processo de remoção de óleo diesel por extração em água realizado pelas empresas. O tratamento dos resíduos óleo-aquoso como do oleoso foram estudados por prensagem em escala de laboratório, onde as principais variáveis avaliadas foram a pressão (2 MPa, 4,2 MPa e 6,4 MPa) e temperatura (0°C, 23°C e 60°C). O tratamento do resíduo oleoso também foi realizado em uma prensa hidráulica industrial (11,7 MPa). Os experimentos foram realizados em triplicata e as diferenças entre médias foram analisadas estatisticamente (Anova e Teste de Tukey). Os resultados de laboratório demonstraram que a remoção de líquidos é uma função da pressão aplicada – quanto maior a pressão maior a remoção – e que a melhor temperatura do processo ocorre a 23°C. Por proporcionar uma maior pressão, os melhores resultados foram obtidos com a prensa industrial. Nesta condição, o resíduo, contendo em sua forma bruta 19,0% de óleo e 8,4% de água, após a prensagem passou a ter 2,7% de óleo e 3,7% de água, correspondendo a uma remoção de fluidos de aproximadamente 77%. O material apresentou volume reduzido e perdeu suas propriedades de fluidez. Pode-se concluir que a prensagem é um método satisfatório e viável na recuperação de óleos do resíduo da serragem de ágatas. Em relação à fração sólida, esta apresenta melhores condições para o aproveitamento na cerâmica vermelha e agregados cerâmicos leves ou, alternativamente, em processos complementares que visam a remoção total do óleo (extração por solventes ou processos biológicos).

## ABSTRACT

The city of Soledade is the main state pole (RS) on the manufacture, sale and export of agates. In the processing of agate, the step of sawing geodes generates a residue composed of diesel oil and stone dust (oily sludge). Due to the high cost and because this process is carried out mostly by small companies, the oily sludge is accumulated in their own courtyards, waiting for a suitable destiny. Often, the sludge is processed with water, providing a partial oil recovery, but don't avoid the generation of an oil-aqueous sludge. The stored sludge containing fluids, is an environmental liability to be solved within the production chain of gems and jewels of the state of Rio Grande do sul. The objective of this work was to study the removal of the liquid fraction (oil and water) present in the residue by pressing. The experimental part of the work included several steps. Initially the oil diesel removal by water extraction process made by the companies was characterized. The treatment of the oily and water-oily residue were studied by pressing on a laboratory scale, where the main variables were pressure (2 MPa, 4.2 MPa and 6.4 MPa) and temperature (0°C, 23°C and 60°C). The oily residue treatment was also carried out in an industrial hydraulic press (11,7 MPa). The experiments were performed in triplicate and differences between means were statistically analyzed (ANOVA and Tukey test). The laboratory results showed that the removal of liquid is a function of the applied pressure – higher the pressure higher the removal- and the best temperature occurs at 23 °C. As it provides the highest pressure, the best results were obtained with the industrial press. In this condition the oily residue, contains 19.0% oil and 8.4% water, after the press it had 2.7% oil and 3.7% water, corresponding to approximately 77% of liquid removal. The material showed reduced volume and lost their flow properties. It can be concluded that pressing is a satisfactory and viable oil recovering method from the residue of sawdust agate. Regarding the solid fraction, this presents the best conditions for the utilization in red pottery and ceramic lightweight aggregate or, alternatively, in complementary processes aimed at complete removal of oil (solvent extraction or biological processes).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa gemológico da região sul do Brasil. ....	13
Figura 2: Mapa gemológico do Rio Grande do Sul.....	15
Figura 3: Mapa do Rio Grande do Sul com destaque para a cidade de Soledade .....	17
Figura 4: Fluxograma do beneficiamento de ágatas.....	18
Figura 5: Esquema da serra caixão (A) vista lateral, (B) vista superior.....	25
Figura 6: Curva granulométrica do pó de ágata oriunda do processo de serragem.....	29
Figura 7: Curva granulométrica .....	32
Figura 8: Fluxograma do desenvolvimento experimental do trabalho.....	33
Figura 9: Detalhe da serra caixão com o resíduo oleoso ao fundo.....	34
Figura 10: Resíduo Oleoso retirado da serra caixão.....	34
Figura 11: Resíduo aquoso após o processo empírico de recuperação do óleo diesel. ....	35
Figura 12: Dimensionamento do recipiente empregado nos estudos de prensagem. ....	36
Figura 13: Vista superior do recipiente empregado nos estudos de prensagem do resíduo. ....	36
Figura 14: Vista lateral do recipiente empregado nos estudos de prensagem do resíduo. ....	37
Figura 15: Prensa industrial.....	38
Figura 16: Fluxograma do ensaio com resíduo aquoso.....	40
Figura 17: Fluxograma do ensaio com resíduo oleoso.....	41
Figura 18: Fluxograma dos experimentos realizados em uma prensa industrial.....	41
Figura 19: Empacotamento do resíduo da serragem de ágatas para os estudos de prensagem industrial. ....	42
Figura 20: Recuperação do óleo diesel superficial por sifonamento.....	45
Figura 21: Resíduo oleoso acondicionado na betoneira.....	46
Figura 22: Resíduo oleoso mais água em processo de agitação.....	46
Figura 23: Óleo diesel após a agitação e período de repouso.....	47
Figura 24: Recuperação do óleo diesel após a agitação .....	47
Figura 25: Valores médios de remoção de fluido do resíduo oleoso-aquoso com aplicação de diferentes pressões a 23°C .....	49
Figura 26: Resíduo aquoso-oleoso após o processo de prensagem.....	50
Figura 27: Fluido recuperado através da compressão do resíduo aquoso-oleoso.....	50
Figura 28: Valores médio de remoção de fluido com aplicação de diferentes pressões e temperaturas.....	54
Figura 29: Resíduo oleoso após a compactação.....	54
Figura 30: Fluido recuperado através da compressão do resíduo oleoso .....	55
Figura 31: Resíduo oleoso prensado a 0°C (esquerdo - 6,4 MPa, centro - 4,2 MPa e direita - 2 MPa).....	55
Figura 32: Resíduo oleoso prensado a 23°C (esquerdo - 6,4 MPa, centro - 4,2 MPa e direita - 2 MPa). ....	56
Figura 33: Resíduo oleoso prensado a 60°C (esquerdo - 6,4 MPa, centro - 4,2 MPa e direita - 2 MPa). ....	56
Figura 34: Filtro com o resíduo oleoso na prensa industrial .....	60
Figura 35: Filtro com resíduo oleoso prensado.....	60
Figura 36: Resíduo oleoso prensado na prensa industrial .....	61
Figura 37: Curva granulométrica do pó de ágata .....	62

Figura 38:Difração por raio X do do pó de ágata.....	63
Figura 39: Espectrograma do pó de ágata .....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação das empresas beneficiadoras de ágata .....	21
Tabela 2: Desempenho ambiental no processo produtivo das empresas em Soledade – RS .....	22
Tabela 2: Desempenho ambiental no processo produtivo das empresas em Soledade – RS (conclusão) .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 3: Propostas de ações às empresas beneficiadoras de ágatas.....	23
Tabela 5: Composição química da argila e do lodo oleoso. ....	27
Tabela 6: Valores médios ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) do teor de óleo e umidade para o resíduo oleoso no estado bruto e para o resíduo aquoso após extração com água. ....	48
Tabela 7: Valores médios ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) de remoção de fluido em mL/kg para o resíduo aquoso-oleoso.....	49
Tabela 8: Análise de normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk para o resíduo aquoso-oleoso .....	51
Tabela 9: Análise ANOVA do ensaio com o resíduo aquoso-oleoso .....	51
Tabela 10: Teste de Tukey com um critério de classificação para o resíduo aquoso-oleoso .....	52
Tabela 11: Valores médios ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) do teor de óleo e umidade da amostra bruta e prensada do resíduo aquoso-oleoso.....	52
Tabela 12: Valores médios ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) de remoção de fluido em mL/kg para o resíduo oleoso .....	53
Tabela 13: Análise de normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk para o resíduo oleoso.....	57
Tabela 14: Análise ANOVA para o resíduo oleoso .....	57
Tabela 15: Teste de Tukey com dois critérios de classificação A (temperatura) e B (pressão).....	58
Tabela 16: Valores médios ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) do teor de óleo e umidade para o resíduo oleoso (23°C com 6,4 MPa) .....	59
Tabela 17: Valores médios ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) do teor de óleo e umidade para o ensaio com a prensa industrial .....	61
Tabela 18: Análise por elemento do pó de ágata.....	63
Tabela 19: Análise por óxido do pó de ágata .....	63

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	OBJETIVO GERAL .....	12
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	A MINERAÇÃO DE PEDRAS PRECIOSAS NO RIO GRANDE DO SUL.....	13
2.2	BENEFICIAMENTO DE ÁGATAS E OS RESÍDUOS GERADOS.....	17
2.3	GERAÇÃO DO RESÍDUO LODO OLEOSO.....	24
2.4	TÉCNICAS EMPREGADAS PARA TRATAMENTO DE RESÍDUO OLEOSO .....	26
2.4.1	Incorporação do resíduo na massa cerâmica.....	27
2.4.2	Descontaminação de resíduo contaminado com diesel com aplicação de <i>Soil Washing</i> modificado.....	28
2.4.3	Biorremediação de resíduo contaminado com diesel proveniente do beneficiamento de geodos de ágata .....	30
3.	EXPERIMENTAL.....	33
3.1	MATERIAIS.....	33
3.1.1	Amostra.....	33
3.1.2	Equipamentos para prensagem .....	35
3.1.2.1	Prensagem em escala laboratorial .....	35
3.1.2.2	Ensaio com uma prensa industrial.....	37
3.2	MÉTODOS.....	38
3.2.1	Extração com água .....	38
3.2.2	Prensagem em laboratório.....	39
3.2.3	Prensagem em planta industrial .....	41
3.2.4	Análises para caracterização dos resíduos.....	44
3.2.4.1	Teor de óleo.....	42
3.2.4.2	Umidade .....	43
3.2.4.3	Granulometria .....	43
3.2.4.4	Análise mineralógica por Difração de Raio X (DRX).....	43
3.2.4.5	Análise elementar por Fluorescência de Raios-x (FRX) .....	44
3.2.5	Dimensionamento do processo e viabilidade econômica no contexto regional .....	<b>Erro!</b>
	<b>Indicador não definido.</b>	
3.2.6	Tratamento estatístico .....	44
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45



4.1	CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DO ÓLEO DIESEL POR EXTRAÇÃO EM ÁGUA.....	45
4.2	ESTUDOS DE COMPRESSÃO DO RESÍDUO EM ESCALA DE LABORATÓRIO.....	48
4.2.1	Ensaio de compressão com o resíduo aquoso-oleoso.....	49
4.2.2	Ensaio de compressão com resíduo oleoso.....	53
4.3	COMPRESSÃO COM UMA PRENSA INDUSTRIAL.....	59
4.4	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO PÓ DE ÁGATA.....	62
4.5	DIMENSIONAMENTO DO PROCESSO E VIABILIDADE ECONÔMICA NO CONTEXTO REGIONAL.....	<b>Er</b>
	<b>ro! Indicador não definido.</b>	
5.	CONCLUSÃO.....	65
	ANEXO A – VALORES DOS ENSAIOS DE ÓLEOS E GRAXAS E UMIDADE.....	71
	ANEXO B – VALORES DE REMOÇÃO DE FLUIDOS POR Prensagem.....	73

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é conhecido por ser um dos principais exportadores de pedras preciosas, sendo destaque o estado de Minas Gerais responsável por 44,5 % do total de exportações brasileiras e o Rio Grande do Sul com 33,0%. A produção de pedras preciosas do Rio Grande do Sul, que envolve tanto as lapidadas ou em estado bruto, é destinada principalmente ao mercado externo (em torno de 90%) enquanto que uma pequena parcela é comercializada no mercado interno (5 a 10%) em cidades turísticas como São Paulo e Rio de Janeiro (LAIMER, 2008).

A região sul do Brasil é conhecida por possuir vários depósitos de ágata e de ametista em geodos nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (Bacia do Paraná). Associados à ágata e ametista podem ocorrer quartzo, jaspe, ônix e opala, além de outros minerais utilizados como gemas ornamentais ou de coleção, como calcita, gipsita, barita e grande variedade de zeólitas. As principais jazidas estão concentradas no Rio Grande do Sul, que é atualmente um dos principais fornecedores dessas gemas, em quantidade e qualidade, para o mercado internacional (SILVA et al, 2010; JUCHEM, 2014).

No município de Soledade, localizado no Planalto Médio do Estado do Rio Grande do Sul, 35 a 38% do PIB provém da comercialização de gemas, empregando cerca de 1000 funcionários de forma direta e mais de 3000 de forma indireta. As empresas variam em porte e função, havendo empresas que recebem a matéria prima, beneficiam e exportam até empresas familiares que realizam uma única etapa terceirizada. A cidade firmou-se como polo estadual na industrialização, comercialização e exportação de pedras preciosas. A consolidação como polo estadual também está relacionada ao fato de mais de 70% das empresas estarem associadas ao Sindicato das Indústrias de Joalheria, Mineração, Lapidação, Beneficiamento e Transformação de Pedras Preciosas do Rio Grande do Sul (SINDIPEDRAS, 2013).

Além do Sindipedras, existe em Soledade a Associação dos Pequenos Pedristas de Soledade – APPSOL, constituída por empresas beneficiadoras de ágatas que se caracterizam como empresas que prestam serviços terceirizados como serragem, tingimento e polimento para grandes empresas do setor. Nesses processos são gerados resíduos líquidos e sólidos, os quais tem sido alvo de ações para minimização do impacto ambiental.

Nesse contexto, surge a problemática da gestão dos resíduos sólidos, com especial atenção ao lodo oriundo do processo de serragem. No beneficiamento de ágatas, a etapa de serragem dos geodos gera um resíduo (lodo oleoso) composto por óleo diesel e pó de pedra que,

se não forem bem gerenciados, possuem um grande potencial de contaminação do meio ambiente (TRAMONTINA et al, 1997). A geração desse resíduo atualmente demanda soluções tanto do ponto de vista de gerenciamento do processo quanto da manutenção de resíduos acumulados. Algumas empresas destinavam esse resíduo a aterros, porém os resíduos oleosos foram impedidos de serem destinados em aterros pela portaria FEPAM N° 16/2009 (RIO GRANDE DO SUL, 2009), havendo como solução somente o coprocessamento na indústria cimenteira, com custos ainda mais elevados. Neste contexto, o lodo oleoso tem sido acumulado nos pátios das empresas, caracterizando um passivo ambiental, esperando um destino adequado.

Tanto o óleo como o pó de ágata encontram aplicações quando separados. O óleo pode ser reutilizado no próprio processo de corte das ágatas. O pó de ágata, isento de óleo, pode ser empregado na estabilização geomecânica de solos (THOMÉ et al., 2003), como material de preenchimento em concretos, em materiais cimentícios (TRAMONTINA et al, 1997; VENQUIARUTO et al., 2014) e na construção de pavimentos urbanos (ROSA et al, 2014). Com concentrações reduzidas de óleos, pode ser incorporado em materiais cerâmicos na produção de tijolos, telhas e agregados leves (BRUXEL, 2011; MORAES & REOLON, 2014). Deve-se ressaltar que o pó de ágata, isento de óleo, só é obtido em grandes quantidades nas operações de rolamento. O pó da ágata da serragem, como está misturado ao óleo, encontra dificuldades de aplicação.

Neste contexto é imprescindível a implantação de uma técnica eficiente para a remoção de óleo. Atualmente, a técnica aplicada é o processamento do lodo com água, o que proporciona a recuperação parcial do óleo, mas não evita a geração de um lodo óleo-aquoso. Neste sentido, o presente trabalho visa contribuir com uma proposta de remoção de fluidos do pó de ágata, aumentando a recuperação de óleo e proporcionando uma fração sólida com melhores características para manuseio e futuras destinações.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a remoção do óleo diesel presente no lodo oleoso da serragem de ágatas por prensagem.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar o processo empírico de remoção de óleo diesel praticado por algumas empresas do setor de beneficiamento de gemas;
- b) Avaliar a eficiência de remoção de fluido oleoso e aquoso/oleoso, em escala laboratorial, através da aplicação de três pressões de cargas diferentes e três temperaturas;
- c) Avaliar a eficiência da utilização de uma prensa industrial para o processamento do lodo oleoso;
- d) Caracterizar as propriedades do resíduo processado quanto as suas propriedades físicas e químicas;

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A MINERAÇÃO DE PEDRAS PRECIOSAS NO RIO GRANDE DO SUL

Na Figura 1 é apresentado o mapa gemológico da região sul do Brasil, mostrando onde se encontram os principais depósitos de materiais gemológicos. Segundo Juchem et al. (2010), os principais depósitos de ágatas estão localizados na região central do Rio Grande do Sul, chamada de Distrito Mineiro de Salto do Jacuí.

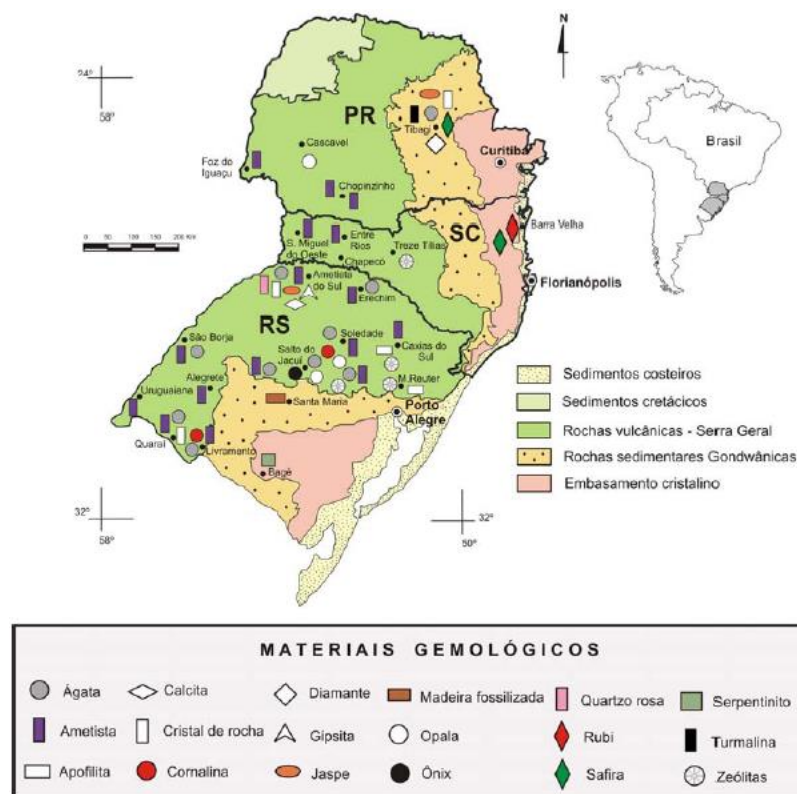


Figura 1: Mapa gemológico da região sul do Brasil.

Fonte: Juchem et al. (2009)

O estado do Rio Grande do Sul possui destaque na mineração devido à presença de minerais como a ágata e ametista, mas há a ocorrência de outros minerais menos conhecidos pelo público como opala, rubi, safira e outros materiais gemológicos que podem ser aproveitados (JUCHEM et al., 2009). O estado possui representatividade a nível nacional em

relação à exportação de pedras preciosas sendo superado somente por Minas Gerais (LAIMER, 2008).

Ágata é um termo aplicado a um conjunto de várias formas de sílica (óxidos de silício ( $\text{SiO}_2$ ), principalmente a calcedônia. O mineral é largamente distribuído na crosta terrestre, porém nem sempre sob uma forma economicamente viável (BRUM & SILVA, 2010).

A ágata encontra-se contida em cavidades denominados de “geodos” que ocorrem em rochas vulcânicas, como as do Grupo Serra Geral. Esses geodos são extraídos em garimpos a céu aberto ou em galerias de encosta e podem ser encontrados na forma arredondadas e ovóides, possuindo uma extensão centimétrica até métrica (JUCHEM et al., 2009; HARTMANN, 2010).

Hartmann (2010) destaca que os garimpeiros possuem um conhecimento empírico de que ao abrir uma nova galeria de encosta eles irão alcançar a mineralização somente após percorrer 50-100 m na direção do maciço rochoso, pois segundo eles, os geodos de ágatas estão localizados no núcleo das “cordilheiras” e não em suas bordas. Esta hipótese é refutada pelo autor, que afirma que essa característica de distribuição do minério é aleatória. A gênese dos geodos mineralizados com ametista e ágata é um assunto polêmico. Contudo, Hartmann e colaboradores sugerem a origem epigenética-hidrotermal dos geodos (DUARTE et al., 2014).

O Instituto Brasileiro de Tecnologia Social cita a região do Alto da Serra do Botucaraí como uma região com um alto potencial produtivo de gemas. Na Figura 2 destacam-se as áreas com jazidas significativas em termos de qualidade e volume: (a) sem produção (amarelo); (b) áreas produtivas (laranja); (c) jazidas de qualidade e volume menores (azul).

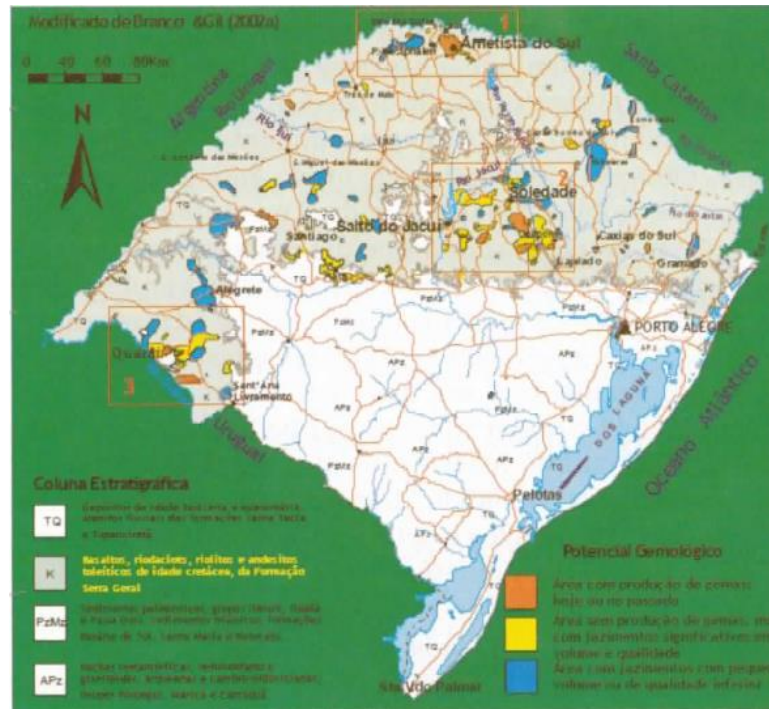


Figura 2: Mapa gemológico do Rio Grande do Sul.

Fonte: ITSBRASIL (2010)

Folle et al. (2010) realizaram um diagnóstico do cenário da indústria extratora de pedras preciosas do Rio Grande do Sul. Os autores conduziram entrevistas com cooperativas, algumas das quais sem cadastro das áreas mineradas e outras com cadastro elevado das áreas mineradas. Concluíram que somente 10% das áreas cadastradas continuam em operação. Esse alto número de garimpos inativos deve-se a crise mundial que afetou a cotação do dólar e as questões ambientais que exigem que o empreendimento seja legalizado junto aos órgãos fiscalizadores.

Como exemplo, Fernsterseifer (2010) cita que no início da década de 1990 havia de 400 a 500 cavas em atividade no Vale do Taquari empregando cerca de 1500 pessoas nos processos de extração e beneficiamento. Porém após o final daquela década, houve uma progressiva redução nas áreas de extração. No ano de 2010 havia trinta áreas ainda operando, sendo que apenas uma devidamente licenciada com um contingente de 250 trabalhadores.

De acordo com Hartmann (2010), minerais como ágata e ametistas são estratégicos ao estado por terem um valor econômico e por gerarem empregos. A cadeia produtiva vai da extração, beneficiamento e aplicação diversas em utensílios e adornos. O Rio grande do Sul é conhecido internacionalmente pela produção de ágatas e ametistas, sendo considerado o maior

produtor mundial desses minerais. As gemas de ágatas e ametistas são consideradas as mais belas do mundo e a sua produção é de aproximadamente 400 t/mês.

Segundo Juchem et al. (2009), mesmo com a importância econômica que as gemas representam ao estado, há uma série de problemas relativos ao beneficiamento realizado pelas indústrias gaúchas, dentre as quais pode-se destacar:

- a) A maior parte da produção é exportada em bruto;
- b) Os objetos produzidos na indústria de beneficiamento são em sua maioria repetitivos e sem inovação;
- c) A lapidação de gemas é pequena comparada ao volume de produção;
- d) A exploração de depósitos minerais gera uma quantidade significativa de rejeitos constituída por minerais que ainda possuem um valor econômico.

A ágata pode ser encontrada em diversas cores, naturais ou tingidas. Segundo Brum & Silva (2010), o Rio Grande do Sul possui gemas de cores naturais tais como branca, cinza, cinza-azulada, vermelha, preta, laranja e marrom. As cores rosa, roxa, verde ou azul são provenientes de tingimento. Os autores citam que 90% das ágatas vendidas no mundo são tingidas, porém as encontradas no Rio Grande do Sul são tingidas com menor frequência.

Dentre as cidades gaúchas produtoras de pedras preciosas, Soledade possui destaque devido à grande concentração de empresas sindicalizadas que beneficiam as gemas. A extração de pedras, que era abundante na região, hoje está praticamente extinta devido ao processo de extração inadequado em anos anteriores (LAIMER, 2008).

Historicamente, no período entre 1950 e 1970, a mineração de gemas era feita de modo artesanal. A atividade de extração começou a ser facilitada com a ajuda de maquinário pesado a partir de 1975. Os geodos eram encontrados em áreas baixas devido à erosão mecânica do basalto (CECCHIN, 2011).

Segundo Cecchin (2011), as primeiras indústrias do ramo de pedras preciosas começaram a se instalar em Soledade por meados da década de 70. Porém, foi no ano de 1980 que houve um grande aumento na demanda do mercado, quando várias empresas pequenas e médias se instalaram. Atualmente as duas maiores empresas exportadoras de pedras preciosas do Brasil se encontram em Soledade.



Soledade é uma cidade localizada na região norte do estado do Rio Grande do Sul, a 726 m acima do nível do mar, com uma população de 30.044 habitantes (IBGE, 2010). Na Figura 3 é apresentado o mapa do estado do Rio Grande do Sul com destaque para a cidade de Soledade (em vermelho).



Figura 3: Mapa do Rio Grande do Sul com destaque para a cidade de Soledade

Fonte: Cecchin (2011)

A atividade industrial de beneficiamento e comercialização de pedras preciosas é responsável por uma grande parte do PIB e desenvolvimento da cidade de Soledade (CECCHIN, 2011). De cada 20 empreendimentos no município, 15 são de beneficiamento de pedras preciosas, gerando cerca de 1500 empregos diretos e 4500 empregos indiretamente (LAIMER, 2008). Segundo Ipar et al. (2013), Soledade atualmente possui cerca de 180 empresas ativas no setor de pedras preciosas.

## 2.2 BENEFICIAMENTO DE ÁGATAS E OS RESÍDUOS GERADOS

Laimer (2008), ao avaliar o processo produtivo de diferentes empresas associadas ao Sindipedras, sugeriu o seguinte fluxograma do beneficiamento de ágatas (Figura 4):

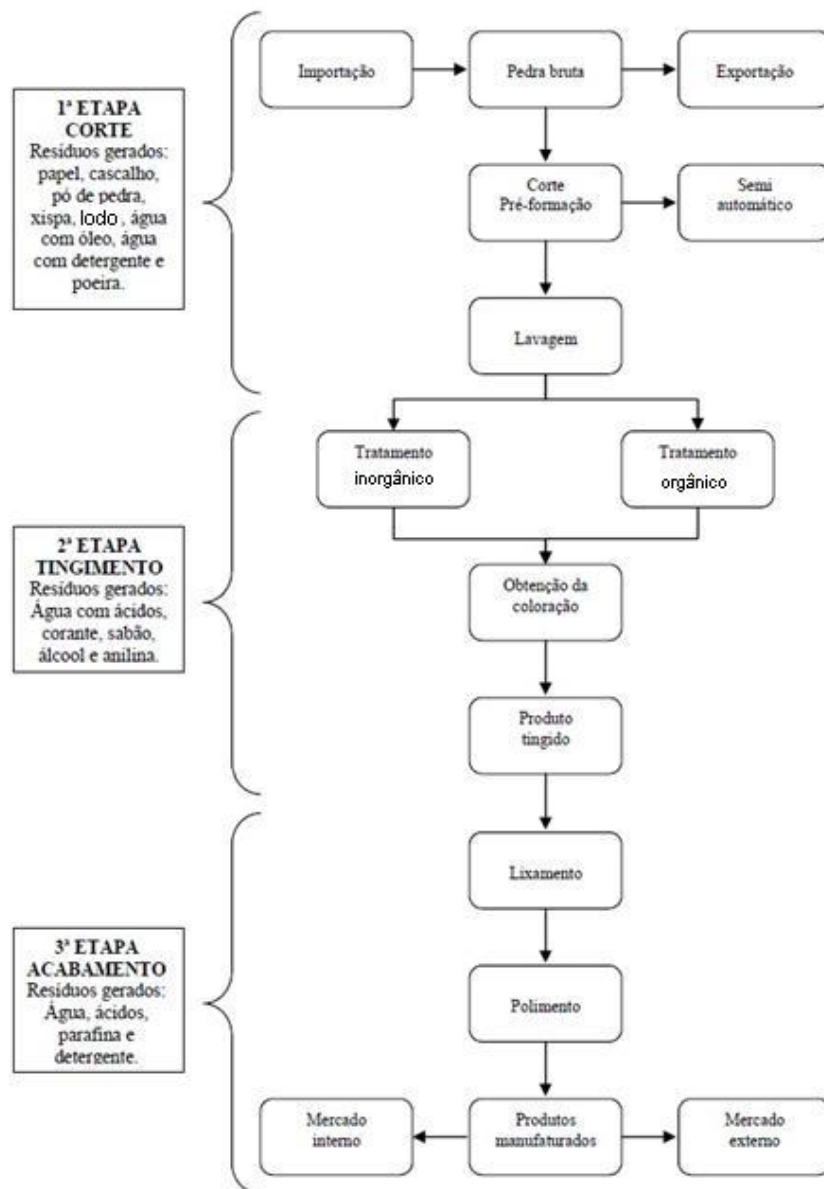


Figura 4: Fluxograma do beneficiamento de ágatas

Fonte: Adaptado de Laimer (2008)

O processo produtivo das pedras preciosas é composto por várias etapas sendo que nem sempre elas pertencem à mesma empresa. Há muitas empresas terceirizadas que prestam serviços (CECCHIN, 2011). De acordo com Sindelar et al., (2013) o prazo médio necessário para realizar o beneficiamento de gemas é de 30 a 45 dias.

Segundo o Sindipedras (2013), processos menores como polimento, corte e tingimento são executados por pequenas empresas informais, que trabalham de acordo com a sazonalidade do mercado.

Na primeira etapa, de corte, o geodo é cortado em forma de chapas conforme a espessura desejada. O geodo é colocado em um equipamento chamado “serra caixaão” cuja serra é lubrificada na parte inferior com óleo diesel ou naval. Durante esse processo são gerados resíduos conforme citados na Figura 4. Destaca-se o lodo composto por óleo e pó de pedra, extremidades e pequenos cacos da gema; os quais não podem ser reaproveitados (SINDELAR et al., 2013).

Thomé et al. (2010) cita que os pedaços não aproveitados são, em sua maioria, estocados e depois enviadas para serem processadas em pedras roladas ou utilizadas em pavimentos ou como agregados, enquanto que o pó de pedra é parcialmente reaproveitado para o polimento.

A segunda etapa, de tingimento é considerada a que mais causa prejuízos ao meio ambiente, pois a coloração da ágata (inorgânica ou orgânica) gera um efluente que têm em sua composição metais, óleos, surfactantes e corantes orgânicos. As vazões desse processo podem variar de 30.000 L/dia a 50.000 L/dia, dependendo do porte da empresa (CARISSIMI & SCHNEIDER, 2010). O tingimento é realizado após a peça ser cortada e desbastada mas antes de ser polida, pois o polimento pode obstruir os poros dificultando a penetração do corante (BRUM & SILVA, 2010).

O tingimento é realizado para melhorar a qualidade das ágatas. Contudo, o impacto ambiental é significativo pois cada tingimento emprega reagentes químicos específicos. Na maioria das empresas, os efluentes provenientes dos diferentes tipos de tingimentos são misturados, não diferenciando os corantes inorgânicos dos orgânicos; o que acaba dificultando o tratamento (DAMBROS, 2008; CARISSIMI & SCHNEIDER, 2010).

Na terceira etapa, de acabamento, as peças são lixadas e polidas. Os principais resíduos são formados por água e pó da gema.

Ainda, as gemas podem apresentar defeitos internos somente perceptíveis ao final do processo de beneficiamento. Assim, as empresas produzem um número maior do que o que realmente necessitam, chegando a constituir o dobro do que o cliente realmente pediu. As peças defeituosas são de difícil aproveitamento (SINDELAR et al., 2013).

Os resíduos citados na Figura 4 constituem-se de diversos tipos e provenientes de diversas etapas do processo. Segundo Picolotto (2013), destacam-se a geração de resíduos como refugos, peças semiacabadas, lodo e efluentes. Em sua maioria, esses resíduos são armazenados dentro do pátio das empresas.

Os resíduos podem ser classificados em dois tipos: (a) os resíduos contaminados com produtos químicos, como efluentes com diferentes corantes e o lodo oleoso; e (b) os resíduos não contaminados e que se encontram no estado bruto (estes, em sua maioria, são originários do garimpo) como fragmentos de rochas, restos de pedras e pó de pedra (PICOLOTTO, 2013; BETAT et al., 2009)

O lodo oleoso muitas vezes é estocado dentro da própria empresa à espera que seja recolhido por alguma empresa ou até mesmo pela prefeitura. Os restos de pedras são processadas para obtenção das pedras roladas. O pó de pedra é reutilizado no polimento de futuras peças (PICOLOTTO, 2013; VILASBÔAS et al., 2013).

Sindelar et. al., (2013), ao avaliar o desempenho de uma empresa, observou que 35% das peças ao final do processo de beneficiamento encontravam-se fora das especificações desejadas, seja por estarem fora do tamanho ideal, por estarem quebradas ou trincadas ou por apresentarem tonalidade diferente da desejada. Para a produção das peças foram utilizadas 838,5 kg de minério de gemas, sendo que ao final foi obtido 124,5 kg de produto acabado, ou seja, apenas 15% do valor inicial. O restante da matéria prima acabou sendo incorporado no lodo oleoso, restos de gemas (“cacos” e “casca da gema”) e peças defeituosas.

De acordo com Laimer (2008) e Thomé et al. (2010), as empresas podem ser classificadas de acordo com as etapas que desenvolvem durante o beneficiamento das ágatas. Na Tabela 1 é representada a classificação das empresas de acordo com os autores.

Tabela 1: Classificação das empresas beneficiadoras de ágata

<b>Grupos</b>	<b>Etapas</b>
A	Empresas que contemplam todas as etapas produtivas da figura 3, iniciam com a matéria prima bruta e concluem o processo com peças prontas para o consumidor.
B	Empresas que não tem a etapa referente ao tingimento, ou seja terceirizam a etapa 2.
C	Empresas que realizam somente a etapa 1 e 3 pois não trabalham com pedras tingidas.
D	Empresas que contemplam em partes a etapa 1 e 3, porém não totalmente, elas cortam e lavam a pedra para comercializá-las em seguida.
E	Empresas que comercializam o produto manufaturado

Das empresas que participaram da pesquisa, a maioria possui um perfil familiar e são de pequeno e médio porte. Constataram que, em 90% das empresas, até cinco pessoas da família trabalham na atividade e que, em 80% delas, possuem até vinte e cinco empregados. Comentam também que os envolvidos no processo produtivo não possuem uma formação profissional para o desempenho da atividade.

Laimer (2008) e Thomé et al. (2010) avaliaram o desempenho ambiental no processo produtivo das empresas em Soledade – RS, levando em consideração cinco aspectos: resíduos sólidos, consumo de água, efluentes, utilização de energia e emissões atmosféricas. Laimer (2008), durante sua pesquisa, considerou 22 empresas associadas ao Sindipedras em Soledade –RS. Thomé et al. (2010) realizaram a pesquisa com as empresas associadas ao Sindipedras, suas terceirizadas, e através de buscas de novas empresas nos bairros de Soledade, o que totalizou 82 empresas. Na tabela 2 é apresentado o desempenho ambiental.

Tabela 2: Desempenho ambiental no processo produtivo das empresas em Soledade – RS

Aspecto ambiental	Comentário Geral	Desempenho ambiental	
		Laimer (2008)	Thomé et al. (2010)
<b>Resíduos sólidos</b>	Os principais resíduos são o cascalho e o pó de pedra, sendo que 70% das empresas estocam eles no pátio da própria empresa. Destaca-se negativamente que grande parte das empresas não possui conhecimento da destinação dos resíduos ou onde eles podem ser reaproveitados.	50%	37%
<b>Água</b>	Destaca-se uma alta porcentagem de empresas que não realizam reúso de água (60%) e que não possuem um programa de conservação da mesma (85%).	45%	47%
<b>Efluentes</b>	Efluentes líquidos são gerados durante o processo de corte e de tingimento. As empresas geram efluentes contendo água e óleo, água e ácidos e água e detergente. Empresas que possuem uma Estação de tratamento de efluentes totalizam 55%, sendo que há uma grande preocupação, pois há incidência de efluentes <i>in natura</i> descartados diretamente na rede de coleta pluvial.	35%	17%
<b>Energia</b>	Das empresas consultadas, 98% utilizam energia elétrica proveniente de concessionária e 99% não possui alguma fonte de energia renovável (solar, eólica, etc.) ou algum tipo de reaproveitamento de energia. 70% das empresas utilizam fornos e caldeiras em seu processo produtivo.	37%	74%
<b>Emissões atmosféricas</b>	Apenas 20% das empresas geram emissões atmosféricas, principalmente poeira, seja através do corte ou lixamento.	61%	71%

Dentre as vinte e duas empresas analisadas por Laimer (2008), seis apresentaram resultado de desempenho ambiental baixo e as outras dezesseis apresentaram um desempenho ambiental médio. O desempenho ambiental das empresas associadas ao Sindipedras foi de 54%, classificado como médio. O autor sugere que devem ser feitas ações de melhorias nos cinco aspectos abordados, porém com um enfoque na utilização de energia e emissões atmosféricas, pois esses dois aspectos contribuíram para que o nível de desempenho ambiental das empresas fosse baixo (LAIMER, 2008). Na tabela 3 são apresentadas as propostas de ações definidas pelo autor.

Tabela 3: Propostas de ações às empresas beneficiadoras de ágatas

<b>Propostas de ação</b>	<b>Comentário</b>
<b>Instalação de filtros</b>	Necessários investimentos em novas tecnologias que reduzam ou eliminem as emissões atmosféricas.
<b>Central de recebimento e tratamento de efluentes</b>	Alternativas de gerenciamento poderiam reduzir o impacto desse aspecto ambiental, sendo que a reutilização seria a forma ideal.
<b>Tecnologias de energia</b>	Avaliar outras formas de obtenção de energia que não sejam dependentes da rede de energia elétrica
<b>Central de tratamento e destinação de resíduos sólidos</b>	O objetivo é a integração dos resíduos em outros produtos e em último caso a disposição em um aterro.

Thomé et al. (2010), por sua vez, concluíram que o desempenho ambiental do setor de pedras foi de 47%, classificando-o como baixo. Das oitenta e duas empresas analisadas, seis apresentaram um desempenho ambiental classificado como médio e setenta e seis um desempenho ambiental classificado como baixo. Os autores citam que o aspecto ambiental de emissões atmosféricas teve o maior percentual de respostas satisfatórias e o aspecto ambiental de efluentes teve o menor percentual de respostas satisfatórias.

Ao avaliar o impacto ambiental do beneficiamento de ágatas, Roisenberg & Vilasbôas (2010), sugerem que a pressão socioeconômica não deve prevalecer sobre as questões ambientais e citam que é de fundamental importância a criação de uma cooperativa que realize uma adequada gestão, coleta e tratamento de efluentes em todas as empresas além de atividades de educação ambiental que conscientizem a população envolvida nos processos quanto as questões de preservação.

Sindelar et al. (2013) sugerem que, para o aumento da competitividade, as empresas modernizem seu processo produtivo e incorporem novas tecnologias para aumentar a produtividade e diminuir a geração de resíduos.

No item a seguir, propõe-se uma revisão sobre geração, processamento e uso do resíduo oleoso retirado das “serras caixão”, que é o foco do presente trabalho.

### 2.3 GERAÇÃO DO RESÍDUO LODO OLEOSO

O processo de beneficiamento de geodos de ágatas inicia com o corte dos mesmos. A serra rotativa utilizada para o corte da matéria prima é lubrificada com óleo diesel ou óleo naval (CAVELHÃO; CECCHIN, 2011).

O óleo é colocado no reservatório do equipamento de forma a encobrir a parte inferior da serra circular. Dependendo da máquina, o geodo de ágata é preso por um fixador (morsa), de forma a regular a espessura do corte do geodo e permitir o avanço da serra na espessura e velocidade desejada (IPAR et al., 2013).

A Figura 5 apresenta o esquema de funcionamento e detalhes de uma serra caixão utilizada para corte dos geodos de ágatas.



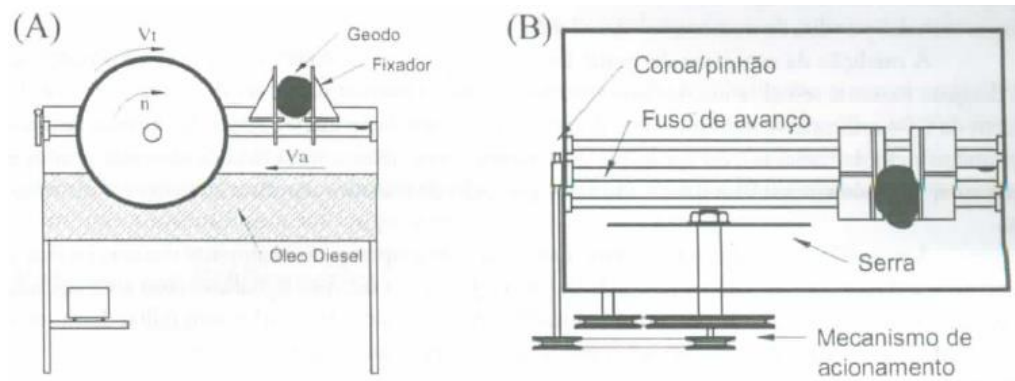


Figura 5: Esquema da serra caixão (A) vista lateral, (B) vista superior

Fonte: IPAR et al., (2013)

O resíduo do processo de corte dos geodos é uma pasta oleosa, que contém pó de rocha misturado com óleo, o qual é classificado como Resíduo Classe I – Perigoso conforme a NBR 10.004 (CECCHIN, 2011).

Segundo Bruxel (2011), uma empresa do município de Teutônia, que forneceu lodo para a realização dos experimentos da dissertação do autor, consome cerca de 14 toneladas de matéria prima por mês, sendo que, desse montante, são geradas 7 toneladas de lodo oleoso. Para tentar recuperar uma parte do óleo da pasta oleosa, o resíduo é submetido a uma série de processos que visam adicionar água ao resíduo e agitar esse composto, manualmente ou em betoneiras. Neste processo existe uma troca de fluidos, ficando a água aderida ou pó de rocha e o óleo sobrenadante. O óleo pode ser recuperado, retornando ao processo de corte das gemas.

De acordo com Cecchin (2011), o tratamento empregado para a recuperação do óleo é precário e insuficiente, não atingindo resultados satisfatórios de remoção. O resíduo após o processo de recuperação ainda continua com um teor significativo de óleo diesel.

O resíduo, aquoso-oleoso ou no estado oleoso bruto, é acondicionado em tambores e armazenado nos pátios das empresas para posterior destinação a um local adequado (CECCHIN, 2011). Algumas empresas destinam o seu resíduo a aterros de resíduos industriais, o que acarreta em custos consideráveis para as empresas pois há o custo do transporte e destinação no aterro. Outras empresas acondicionam o resíduo para serem coletados pela prefeitura municipal. Outras, ainda, admitem dispor o resíduo sem maiores preocupações (BRUXEL; CAVELHÃO 2011).

Picolotto (2013) realizou testes na etapa de corte substituindo o óleo diesel por água. A autora destacou que durante o processo de corte houve uma redução na geração de resíduos sólidos, porém ao empregar água ocorreu a formação de faíscas durante o corte devido a um maior atrito da serra com a pedra. Percebeu também que ao substituir o lubrificante a vida útil da serra diamantada pode diminuir.

Segundo Vilasbôas et al. (2013), a estimativa de produção mensal do lodo oleoso das empresas entrevistadas é de 14.000 kg. Os autores estimaram que há um passivo ambiental de 52.000 kg estocados nas 41 empresas que foram visitadas.

## 2.4 TÉCNICAS EMPREGADAS PARA TRATAMENTO DE RESÍDUO OLEOSO

A seguir são apresentadas algumas técnicas estudadas para o tratamento e destinação do lodo oleoso e/ou do lodo aquoso/oleoso.

### 2.4.1. Incorporação em argamassas

Tramontina et al (1998) caracterizaram o resíduo aquoso-oleoso proveniente da serragem de ágatas, estudaram em laboratório métodos de remoção de fluidos e avaliaram a incorporação em argamassas.

Os teores de fluido no resíduo foram medidos em 3 a 4% de óleo e 20 a 30% de água. A granulometria das partículas que compõe a fração sólida foi classificada como muito fina (95% abaixo de 74  $\mu\text{m}$ ). O composto cristalino majoritário identificado por Difração de Raio-X (DRX) foi a sílica cristalina e criptocristalina.

A remoção do óleo de pó de ágata foi realizada parcialmente por compressão mecânica ou agitação em água. No caso da compressão mecânica, os níveis de remoção, tanto de óleo como água, foram diretamente proporcionais a pressão aplicada (entre 0 e 30 MPa). A remoção completa pode ser efetuada por extração em solventes orgânicos como, por exemplo, o hexano

e éter de petróleo. A Tabela 4 resume alguns valores de remoção obtidos por Tramontina et al (1998)

Tabela 4. Extração de óleo do resíduo oleoso-aquoso da serragem de ágatas por diferentes procedimentos.

<b>Procedimento de extração</b>	<b>Remoção de óleo (%)</b>
Extração por solventes – éter de petróleo	98
Extração por solventes – hexano	99
Agitação em água (20°C)	50
Agitação em água (60°C)	55
Agitação em água com detergente (20°C)	60
Agitação em água com detergente (60°C)	85
Compressão (10 MPa)	9
Compressão (20 MPa)	18
Compressão (30 MPa)	27

O resíduo da serragem de ágatas, após a extração total do óleo, pode ser empregado na construção civil como material de adição, aumentando a resistência à compressão de argamassas.

#### **2.4.1 Incorporação do resíduo na massa cerâmica**

Bruxel (2011), em sua dissertação de mestrado, avaliou a incorporação do resíduo oleosos nas proporções de 0%, 5%, 9%, 13% e 17% na massa da cerâmica vermelha para produção de tijolos. Após foram realizadas análises de resistência à compressão, densidade, absorção de água e retração linear. Na Tabela 5 são apresentados os valores da composição química da argila e do lodo oleoso utilizado.

Amostras	Porcentagem em massa (%)										
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	PF*
Argila	15,13	0,98	12,15	1,52	0,78	0,25	0,75	0,23	58,96	1,86	7,4
Lodo de serra	0,25	0,45	0,64	<0,01	0,22	0,01	0,08	<0,01	94,77	0,04	3,53

\* Perda ao Fogo.

Fonte: Adaptado de Bruxel (2011)

O autor constatou, que o lodo oleoso é composto praticamente por sílica (SiO<sub>2</sub>), enquanto que outros óxidos representam uma quantidade menor. Nas análises de resistência à compressão, densidade e retração linear, Bruxel (2011) observou que, conforme a porcentagem de lodo aumentava, os valores diminuía. Todavia, mantinham-se dentro dos valores estipulados pelas normas da ABNT. Ao analisar a absorção de água, os valores aumentaram, sendo que somente os tijolos feitos com 5% de incorporação ficaram dentro do especificado pela ABNT.

De acordo com Bruxel (2011), a concentração ideal de resíduo oleoso é de 5%. A utilização de concentrações maiores na massa cerâmica de tijolos é possível, porém o autor ressalta que uma porcentagem maior de resíduo oleoso acabaria gerando um desgaste dos equipamentos, devido a sílica, e elevaria o custo de produção, além de gerar um impacto visual negativo devido a coloração mais esbranquiçada.

#### **2.4.2 Descontaminação de resíduo contaminado com diesel com aplicação de *Soil Washing* modificado**

Em seu trabalho de conclusão, Cecchin (2011) aplicou e otimizou um sistema adaptado de “Soil Washing”, visando a remoção da carga poluente existente no sólido. O autor realizou uma caracterização do lodo oleoso, mediu a distribuição granulométrica, peso específico e pH. A curva granulométrica do material é apresenta na Figura 6.

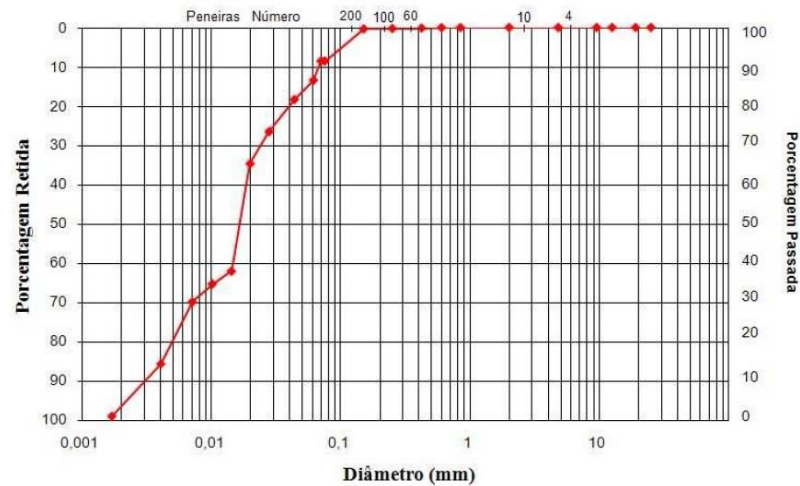


Figura 6: Curva granulométrica do pó de ágata oriunda do processo de serragem.

Fonte: adaptado de Cecchin (2011)

Em relação a massa específica, o valor medido foi de  $2,64 \text{ g/cm}^3$ . Segundo o autor, é um valor consistente devido à mineralogia que é composta predominantemente de quartzo. O pH do resíduo apresentou um resultado levemente ácido, ficando entre 5,5 e 6.

No processo de descontaminação, foram utilizadas amostras coletadas diretamente da máquina de corte (resíduo oleoso), ou seja, o resíduo não foi submetido a um processo prévio para recuperar parte do óleo diesel. A análise de óleos e graxas, a qual o resíduo *in natura* foi submetido, apresentou um teor de aproximadamente 39% de diesel.

Em seu estudo, Cecchin (2011) adotou quatro variáveis:

a) Temperatura:

Foram utilizadas temperaturas de  $0^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$ ,  $50^\circ\text{C}$  e  $80^\circ\text{C}$ .

b) Concentração de NaOH:

Foram utilizadas concentrações de 0 mol, 0,175 mol e 0,35 mol.

c) Tempo de agitação:

Foram utilizados tempos de 10 min, 15 min e 20 min.

d) Tempo de sedimentação:

Foram utilizados tempos de 12 h, 18 h e 24 h.

Através da análise estatística com o teste ANOVA, Cecchin (2011) observou que o parâmetro que obteve maior influência foi a temperatura seguido da concentração de NaOH. As variáveis de agitação e tempo de sedimentação não apresentaram resultados significativos.

Cecchin (2011) concluiu que o aumento de temperatura é responsável pela diminuição da viscosidade existente no óleo diesel e que o hidróxido de sódio atua como um tensoativo atuando na sorção entre o colóide da rocha e o contaminante, facilitando a liberação do óleo para o meio.

A temperatura teve uma influência não linear no experimento. Entre 20°C e 50°C houve uma elevada diferença nos resultados e entre 50°C e 80°C não houve diferenças significativas. A temperatura ideal ficou em torno de 60°C. Em relação à concentração de hidróxido de sódio, a sua eficiência na remoção possui comportamento linear, sendo que a concentração ideal para a remoção do contaminante fica em torno de 0,22 mol/L de NaOH.

#### **2.4.3 Biorremediação de resíduo contaminado com diesel proveniente do beneficiamento de geodos de ágata**

Cavelhão (2011) conduziu diferentes técnicas para avaliar a biodegradação do resíduo através das técnicas de bioaugmentação, bioestimulação, bioaugmentação + bioestimulação e atenuação natural durante trinta dias. Para avaliar os resultados foram realizadas análises da evolução de CO<sub>2</sub>, teor de diesel residual e contagem microbológica.

O autor realizou uma caracterização do lodo oleoso através de análise química, curva granulométrica e massa específica. Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos pelo autor.

Tabela 6: Análise química do lodo oleoso

Parâmetro	Valor
pH H <sub>2</sub> O	4,6
Ind. SMP	7,1
Carbono Orgânico Total (COT) (%)	8,59
Nitrogênio Total (%)	0,04
Fósforo (mg/L)	6,8
Potássio (mg/L)	20
Enxofre (mg/L)	49
Boro (mg/L)	0,5
Manganês (mg/L)	38,5
Zinco (mg/L)	1,21
Cobre (mg/L)	2,65
M.O. (%)	3,7
Alumínio (cmolc/L)	0,5
Cálcio (cmolc/L)	0,4
Magnésio (cmolc/L)	0,3
CTC (cmolc/L)	2
Saturação Bases (%)	38
Saturação Alumínio (%)	39
Saturação Potássio (%)	2,6

Fonte: adaptado de Cavelhão (2011)

Segundo o autor, o resíduo caracteriza-se por possuir um pH ácido e uma baixa concentração de macronutrientes, condições desfavoráveis para a aplicação da biorremediação. De acordo a curva granulométrica (Figura 7), o resíduo apresenta 17,5% de argila, 81% de silte e 1,5% de areia sendo classificado como siltoso. A massa específica do resíduo foi determinada como sendo de 2,6 g/cm<sup>3</sup>.

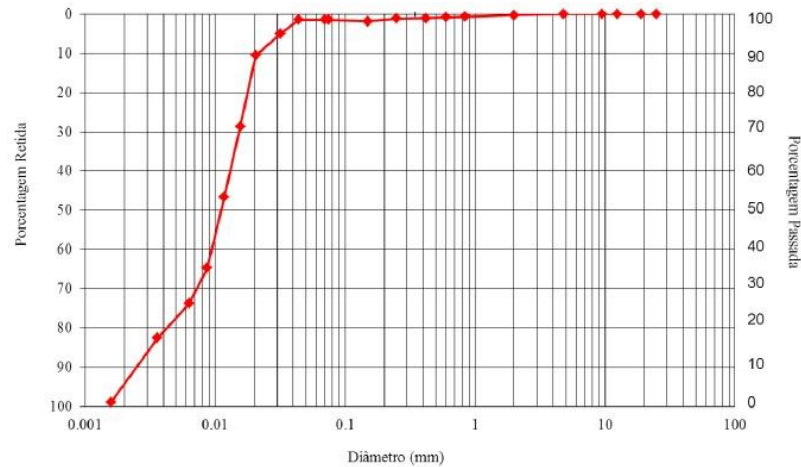


Figura 7: Curva granulométrica

Fonte: adaptado de Cavelhão (2011)

Os resultados do experimento, ao final de 30 dias, apresentaram as seguintes eficiências de remoção de óleo diesel: 12,97% para bioaugmentação + bioestimulação, 12,83% para bioestimulação, 8,87% para bioaugmentação e 9,57% para atenuação natural.

Após a comparação das médias pelo teste de Tukey, a um nível de significância de 5%, o autor concluiu que os dois primeiros ensaios não apresentaram diferença estatística significativa. Deu destaque a técnica de bioestimulação, que igualou valores de degradação de óleo diesel quando comparado a bioaugmentação + bioestimulação, considerando que a técnica de biorremediação foi eficiente na remoção do óleo diesel presente no resíduo.

Neste trabalho, será estudada a remoção de óleo por prensagem. Acredita-se que seja um processo rápido e adaptável à realidade regional e que poderá contribuir para um aumento na recuperação de óleo. Ainda, pode proporcionar melhorias nas propriedades do pó de ágata e facilitar etapas posteriores como a incorporação em materiais cerâmicos, processamento químico e bioprocessos.



### 3. EXPERIMENTAL

O objetivo do trabalho foi recuperar o óleo diesel presente no lodo oleoso através de prensagem. Para tanto, o resíduo foi coletado em uma empresa na cidade de Soledade-RS e armazenado no Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Os ensaios foram conduzidos em escala laboratorial e industrial.

A Figura 8 apresenta um fluxograma do desenvolvimento experimental do trabalho

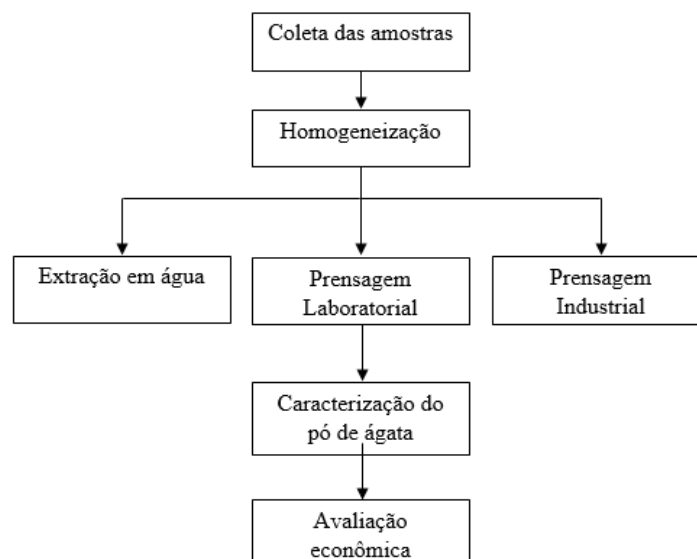


Figura 8: Fluxograma do desenvolvimento experimental do trabalho

#### 3.1 MATERIAIS

##### 3.1.1 Amostra

As amostras de lodo, com e sem tratamento aquoso, foram coletadas em uma empresa de pequeno porte e com mão de obra familiar que realiza somente a etapa de corte do geodo de ágata localizada na cidade de Soledade - RS. Os resíduos amostrais foram coletados diretamente de uma serra caixão e acondicionados em recipientes fechados para transporte e armazenagem. As Figuras 9, 10 e 11 mostram imagens da coleta dos resíduos.



Figura 9: Detalhe da serra caixão com o resíduo oleoso ao fundo



Figura 10: Resíduo Oleoso retirado da serra caixão



Figura 11: Resíduo aquoso após o processo empírico de recuperação do óleo diesel.

### **3.1.2 Equipamentos para prensagem**

Para realizar a prensagem do lodo oleoso foram utilizados equipamentos e máquinas em escala laboratorial e industrial.

#### ***3.1.2.1 Prensagem em escala laboratorial***

Os ensaios para a extração do óleo diesel do resíduo em escala laboratorial foram realizados em uma máquina automática de carga com precisão de 0,023 kN, com um anel de 50 kN, velocidade constante de 1,44 mm/min e determinação visual da força aplicada através de relógio analógico. Esse equipamento está disponível no Laboratório de Ensaio Geotécnicos e Geoambientais (LEGG) da UFRGS.

Para realizar a separação das fases sólida e líquida, tanto na amostra do resíduo oleoso como aquoso/oleoso, foi dimensionado um recipiente, de formato cilíndrico (10 cm de diâmetro interior e 11 cm de diâmetro exterior) e 7 cm de altura. A tampa possui 5 cm de altura e um diâmetro de 9,5 cm com uma cavidade cilíndrica superior. Na Figura 12 são apresentados detalhes do dimensionamento do equipamento.

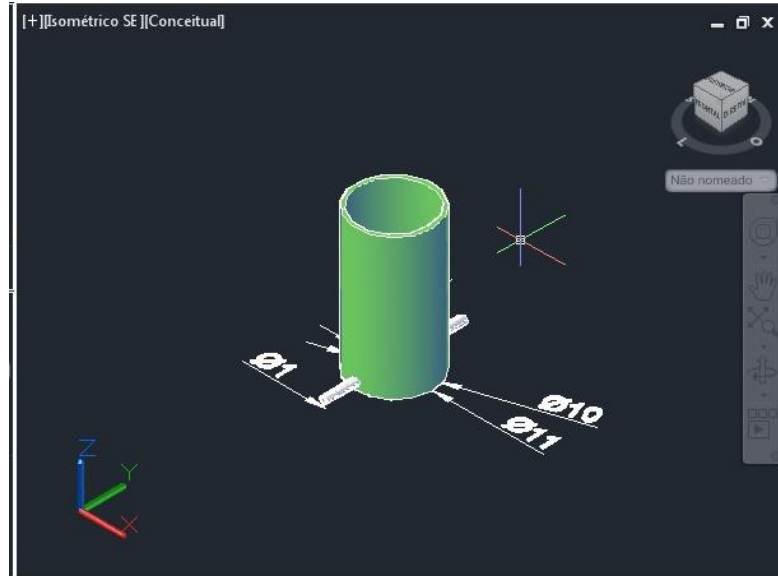


Figura 12: Dimensionamento do recipiente empregado nos estudos de prensagem.

A peça foi projetada de forma que o óleo fosse coletado através dos tubos laterais, como drenos. Para impedir que houvesse arraste de sólidos junto com o óleo durante a aplicação de pressão, utilizou-se um filtro de tecido TNT (polipropileno) com 10 cm de altura e 10 cm de largura. Nas Figuras 13 e 14 é possível ver o equipamento e a tampa em detalhe.



Figura 13: Vista superior do recipiente empregado nos estudos de prensagem do resíduo.



Figura 14: Vista lateral do recipiente empregado nos estudos de prensagem do resíduo.

Para melhorar a execução do ensaio e aumentar a eficiência de remoção de fluidos foi projetado um Oring, como é possível ver na figura 14. Foi utilizado um Oring 2241 com um diâmetro interno de 98,05 mm e um diâmetro externo de 105,08 mm.

### ***3.1.2.2 Ensaio com uma prensa industrial***

Os ensaios foram conduzidos em uma prensa de uso industrial cuja finalidade é retirar óleo de panos e borras. A prensa utilizada foi da marca Hidraumak modelo PK60H, o equipamento atinge uma pressão máxima de 120 kgf/cm<sup>2</sup> (11,76 MPa) e possui um cilindro para alocação da amostra com diâmetro de 0,2 m e 1 m de comprimento.

Na Figura 15 é mostrada uma foto do equipamento disponibilizada no site da empresa.



Figura 15: Prensa industrial

Fonte: Hidraumak

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Extração com água

O tratamento de extração com água foi realizado no local de coleta dos resíduos e o método utilizado para a execução do ensaio baseou-se no método desenvolvido pelo dono da empresa. Na figura 16 é demonstrado um fluxograma do ensaio.

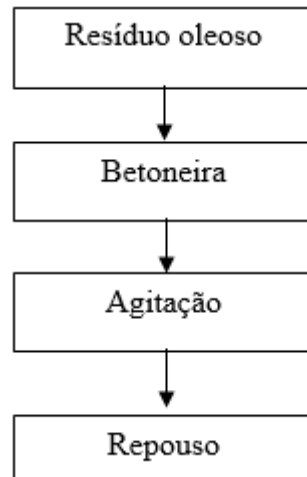


Figura 16: Fluxograma do ensaio de extração com água

O resíduo oleoso em estado bruto foi retirado de uma serra caixão e submetido a agitação com água em uma betoneira por 10 min. A quantidade de água bem como o tempo de agitação parte de uma avaliação visual do operador da máquina.

Transcorrida a agitação, o resíduo oleoso foi mantido em repouso por 12 horas e o óleo diesel foi coletado. O material remanescente foi denominado de resíduo aquoso-oleoso.

### 3.2.2 Prensagem em laboratório

Nos estudos de prensagem em escala laboratorial, definiu-se que os ensaios seriam realizados com três pressões. Através da determinação da força máxima que a máquina automática de carga possuía calibração (leitura de 2180 N) e a seção do recipiente de colocação da amostra, definiu-se a pressão máxima que seria passível de ser aplicada (6,4 MPa). Com a definição da pressão máxima foram determinadas as pressões intermediária (4,2 MPa) e inferior (2 MPa).

Na prensagem também foi avaliada a temperatura. A temperatura do experimento com o resíduo aquoso-oleoso foi definida como 23°C e as temperaturas do experimento com o resíduo oleoso foram definidas como 0°C, 23°C e 60°C.

A temperatura de 23°C foi definida por ser a temperatura ambiente do laboratório onde foram realizadas as análises. A temperatura de 60°C foi determinada através de resultados

obtidos por Cecchin (2011) com o processo de “soil washing”, onde os experimentos indicaram esta temperatura como a de melhor desempenho. A temperatura de 0°C foi escolhida como uma temperatura baixa extrema no Município de Soledade. Para obter as temperaturas desejadas, as amostras foram acondicionadas durante 24 h em ambiente propício, ou seja, em uma estufa (60°C) ou no refrigerador (0°C).

Para a realização dos ensaios foi definido, através de experimentos preliminares, que a quantidade ideal de amostra a ser utilizada seria de 300g. Os ensaios foram feitos em triplicata para possibilitar um tratamento estatístico. Nas Figuras 17 e 18 são apresentados os programas experimentais de prensagem efetuado com o resíduo aquoso-oleoso e com o resíduo oleoso, respectivamente.

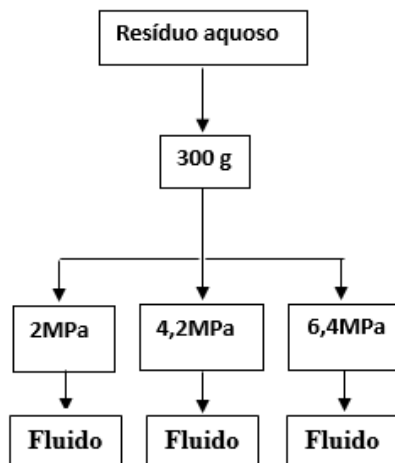


Figura 17: Fluxograma do ensaio com resíduo aquoso



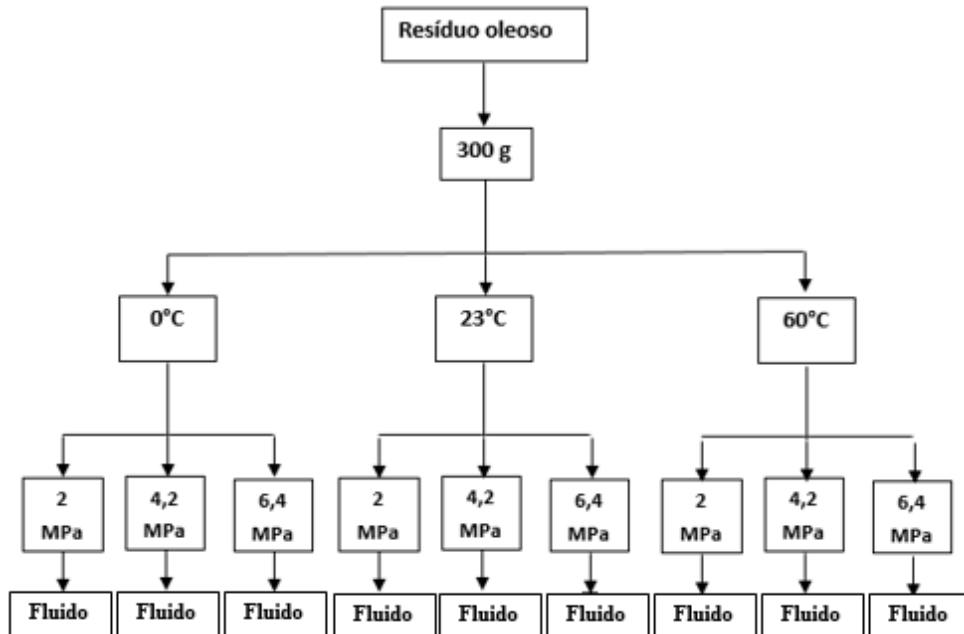


Figura 18: Fluxograma do ensaio com resíduo oleoso

Ao final de cada ensaio foi quantificado o volume de fluido extraído em uma proveta. Os valores foram expressos em unidade de volume por kg de amostra prensada.

### 3.2.3 Prensagem em planta industrial

Foi definido que, para os ensaios com a prensa industrial, seriam utilizadas amostras de resíduo oleoso com uma massa de um quilo (1 kg) cada. Na figura 19 é apresentado um fluxograma dos experimentos realizados com o resíduo oleoso em uma prensa industrial.

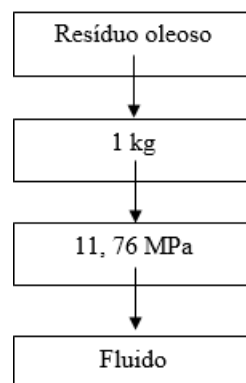


Figura 19: Fluxograma dos experimentos realizados em uma prensa industrial.

Para evitar perdas de material no processo de prensagem, empacotou-se o material em um filtro da marca Viledon modelo fil – 7260 que é utilizado pela empresa. Na Figura 20 é possível observar detalhes do acondicionamento do resíduo para a realização do ensaio.



Figura 20: Empacotamento do resíduo da serragem de ágatas para os estudos de prensagem industrial.

### **3.2.4 Análises para caracterização dos resíduos**

Para caracterizar o resíduo quanto as suas propriedades físico-químicas foram realizadas as seguintes análises: teor de óleo, teor de umidade, curva granulométrica, difração de raio X (DRX) e fluorescência de raio X (FRX). Ressalta-se que as análises de distribuição granulométrica, DRX e FRX foram realizadas com amostra isenta de óleo após a análise de óleos e graxas realizada por extração com solventes

#### ***3.2.4.1 Teor de óleo***

Para quantificar o teor de óleo presente no resíduo prensado as amostras foram submetidas ao método de ensaio de óleos e graxas em Soxhlet. Os ensaios foram realizados de acordo com o Standard Methods (APHA, 2005) pela empresa Bioensaios Análises e Consultoria Ambiental.

O ensaio Soxhlet envolve a utilização de um solvente que passa repetidamente vezes pelo material presente na amostra. Ao longo do tempo, óleos e graxas que são solúveis no

solvente orgânico (hexano ou éter de petróleo), são separados em um balão de fundo chato e pesados

#### ***3.2.4.2 Umidade***

A quantificação da porcentagem de umidade foi realizada por gravimetria a 105°C até peso constante. Os ensaios foram realizados de acordo com o Standard Methods (APHA, 2005) pela empresa Bioensaios Análises e Consultoria Ambiental.

O objetivo do ensaio é determinar a quantidade de água presente na amostra. Para isso o material é submetido a uma sequência de procedimentos. Uma amostra de 5 g foi submetida à uma temperatura controlada (105°C) em estufa por um tempo e o peso ao final do ensaio é comparado com o peso inicial. Esse procedimento é realizado até que a diferença entre os pesos seja menor que 0,5 mg.

#### ***3.2.4.3 Granulometria***

A determinação do tamanho das partículas e a sua porcentagem de ocorrência no material é denominado distribuição granulométrica. Esse ensaio permite obter o tamanho da distribuição de partículas no material, de forma a classificá-lo e definir um melhor uso de acordo com as suas propriedades.

A distribuição granulométrica foi medida por difração de raios laser no aparelho CILAS 1064.

#### ***3.2.4.4 Análise mineralógica por Difração de Raio X (DRX)***

A análise DRX é uma análise que revela informações sobre a estrutura cristalina dos materiais através do espalhamento de ondas de raio X.

As fases cristalinas foram identificadas através da difração de raio X (DRX) em um difratômetro da marca BRUKER-AXS-SIEMENS, modelo D5000.

### **3.2.4.5 *Análise elementar por Fluorescência de Raios-x (FRX)***

A análise por FRX é uma análise de elementos químicos através do fenômeno de fluorescência de raio X. Traduz os resultados em termos de óxidos, porém não fornece nenhuma informação estrutural da amostra.

As análises de fluorescência por raio X foram conduzidas em um Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X modelo Minipal 4, da marca Panalytical.

### **3.2.5 Tratamento estatístico**

Os dados obtidos através da compressão do resíduo aquoso e oleoso foram submetidos ao teste normalidade de Shapiro-Wilk e a análise de variância (ANOVA). A diferença de médias foi avaliada usando o teste de Tukey com significância de 0,05. De acordo com Callegari-Jacques (2003), para que os resultados da ANOVA sejam válidos, é necessário que os dados apresentem uma distribuição normal.

A análise de variância é um procedimento que decompõe a variação total entre os valores obtidos no experimento. O objetivo é comparar as médias obtidas e verificar se há diferenças estatísticas entre os valores analisados. Caso haja diferenças aplica-se um método (Teste de Tukey) de forma a identificar quais médias diferem entre si. (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

As análises estatísticas foram realizadas através do programa OriginPro 8.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DO ÓLEO DIESEL POR EXTRAÇÃO EM ÁGUA

Como forma de recuperar o óleo diesel, algumas empresas do setor de serragem de ágatas desenvolveram um método que consiste em coletar o resíduo oleoso e submetê-lo à agitação junto com água. Esse método varia entre as diversas empresas do setor já que cada uma adapta o processo conforme suas necessidades

Para iniciar o processo de recuperação de óleo diesel, a máquina de corte é desligada e deixada inativa por aproximadamente 3 horas. Esse processo é feito para que haja uma separação entre o óleo e o pó de ágata através da diferença de densidade. Decorrido esse tempo, o operador da máquina remove por sifonamento o óleo excedente que fica na parte superior.



Figura 21: Recuperação do óleo diesel superficial por sifonamento

A máquina de corte utilizada pela empresa consome 70 litros de óleo diesel em média para poder operar. Com a utilização do sifão, recupera-se em média 38,6% (27 litros) do óleo diesel inicial.

Depois de retirado o óleo superficial, o lodo oleoso é acondicionado em uma betoneira junto com água e submetido a agitação, essa agitação dura cerca de 10 min.



Figura 22: Resíduo oleoso acondicionado na betoneira

A agitação pode ocorrer em uma betoneira, como mostrada na figura 22, ou manualmente através da utilização de enxadas ou pás.



Figura 23: Resíduo oleoso mais água em processo de agitação

A quantidade de água a ser adicionada parte da análise visual do operador da máquina. Não há um volume definido por massa ou volume de resíduo. Ao final do processo, devido a agitação, ocorre uma troca entre as fases líquidas. A água é adsorvida pelo pó da ágata e o óleo é liberado. Isso pode ser explicado pelo caráter hidrofílico da sílica ( $\text{SiO}_2$ ) (Fuerstenau et al, 1985).



Figura 24: Óleo diesel após a agitação e período de repouso



Figura 25: Recuperação do óleo diesel após a agitação

Decorrido os 10 min de agitação, o sistema é mantido em repouso por 12 horas para que o óleo seja coletado conforme a Figura 25. De acordo com proprietário, é necessário manter a betoneira inclinada para que todo o óleo escorra, sendo possível recuperar, nessa etapa, cerca de 30% (21 litros) do óleo diesel inicial.

Ao final, são recuperados cerca de 48 litros de óleo diesel por serra caixão esvaziada, uma eficiência de 68,6% sendo que 31,4% continua presente no resíduo agitado. O processo apresenta uma boa eficiência, que é evidenciada pelo volume de óleo diesel recuperado e que pode retornar ao processo produtivo. Também é de fácil execução. O lado negativo desse método empírico é que se caracteriza por ser um processo que demanda muito tempo.

Na Tabela I (ANEXO A) estão apresentados os resultados da análise de óleos e umidade do resíduo oleoso antes e após o processo de extração em água. Na Tabela 6 estão apresentados os valores médios e o desvio padrão.

Tabela 5: Valores médios ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) do teor de óleo e umidade para o resíduo oleoso no estado bruto e para o resíduo aquoso após extração com água.

	<b>Extração com água do resíduo oleoso</b>			
	<b>Amostra bruta</b>		<b>Amostra agitada</b>	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
<b>Óleos e Graxas (%)</b>	19,0	± 1,7	5,1	± 0,4
<b>Umidade (%)</b>	8,4	±0,8	31,4	± 3,6
<b>Total de fluidos (%)</b>	22,4		36,6	

Analisando o teor médio de óleos na amostra bruta (resíduo oleoso) e no resíduo após a agitação (resíduo aquoso-oleoso), é possível afirmar que o processo empírico de extração com água reduz em aproximadamente 73,2% o teor de óleo inicial do resíduo oleoso bruto. Esse valor pode ser considerado satisfatório uma vez que o processo é de simples operação. Porém, ao analisar o teor de umidade médio, nota-se um ganho de 77,0% de água no resíduo. Esse aumento no teor de água acarreta em um acréscimo de massa do resíduo, requerendo em um maior espaço para ser disposto.

#### 4.2 ESTUDOS DE COMPRESSÃO DO RESÍDUO EM ESCALA DE LABORATÓRIO

Os estudos de compressão do resíduo foram realizados contemplando duas situações: (a) o resíduo aquoso-oleoso (obtido após o processo de extração em água) e (b) o resíduo oleoso (amostra bruta).



#### 4.2.1 Ensaio de compressão com o resíduo aquoso-oleoso

Os resultados de remoção de fluidos do resíduo aquoso-oleoso em função da pressão estão expressos na Tabela V do ANEXO B. Na tabela 7 estão apresentados os valores médios e o desvio padrão.

Os valores médios de remoção de óleo foram de 88,4 mL/kg para 2MPa, 106,7 mL/kg para 4,2 MPa e 121,0 mL/kg para 6,4 MPa. Percebe-se que a remoção de fluidos aumenta com o acréscimo da pressão aplicada, de forma similar aos resultados obtidos por Tramontina et al (1998). A Figura 26 apresenta de forma gráfica os valores médios de remoção de fluido alcançados.

Tabela 6: Valores médios ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) de remoção de fluido em mL/kg para o resíduo aquoso-oleoso

Pressão	Volume (mL/kg)	
	$\bar{x}$	$\sigma$
<b>2 MPa</b>	88,4	$\pm 7,6$
<b>4,2 MPa</b>	106,7	$\pm 6,6$
<b>6,4 MPa</b>	121	$\pm 3,8$

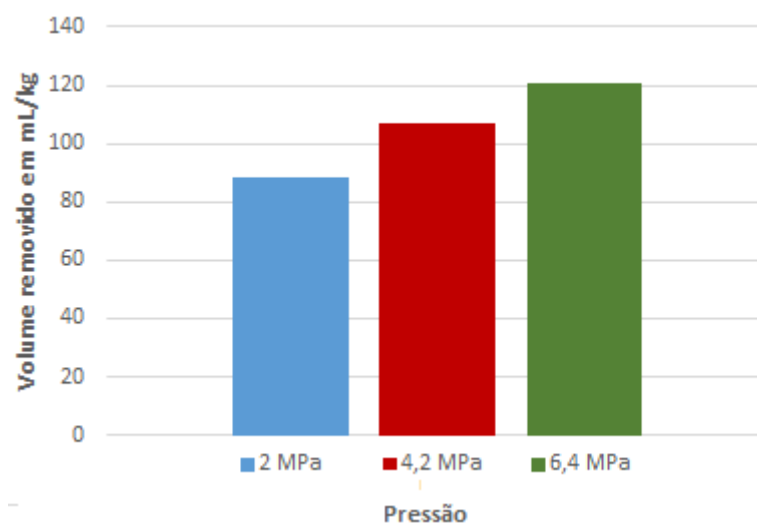


Figura 26: Valores médios de remoção de fluido do resíduo oleoso-aquoso com aplicação de diferentes pressões a 23°C

Ao final de cada ensaio a amostra passou de um estado liquefeito para uma situação mais compacta (com um aspecto de torta). Na figura 27 é apresentado o resíduo aquoso compactado (torta).



Figura 27: Resíduo aquoso-oleoso após o processo de prensagem

A Figura 28 mostra a fase líquida recuperada. O efluente é composto por duas fases. A fase clara é a água e a fase escura é o óleo diesel.

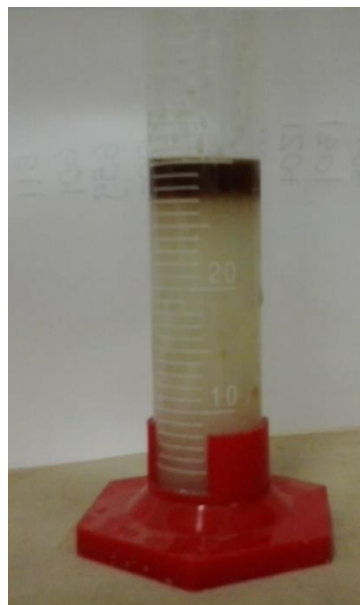


Figura 28: Fluido recuperado através da compressão do resíduo aquoso-oleoso

Para verificar se há diferenças estatísticas entre as médias obtidas nos ensaios de compressão do resíduo aquoso-oleoso, os resultados foram submetidos a uma análise estatística ANOVA com um critério de classificação (“oneway”) usando o teste de Tukey como forma de verificar se as médias diferem entre si. Na Tabela 8 é apresentado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

Tabela 7: Análise de normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk para o resíduo aquoso-oleoso

	<b>DF</b>	<b>Statistic</b>	<b>Prob&lt;W</b>
<b>Resíduo Aquoso-Oleoso</b>	9	0,82304	0,03729

Pela Tabela 8 é possível afirmar que, a uma significância de 0,05, os dados possuem uma distribuição normal uma vez que o valor calculado (0,82304) é maior que o valor tabelado (0,03729).

Após a confirmação da normalidade dos dados os mesmos foram submetidos à análise ANOVA. Os resultados são demonstrados na tabela 9:

Tabela 8: Análise ANOVA do ensaio com o resíduo aquoso-oleoso

	<b>DF</b>	<b>Sum of Squares</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>Prob&gt;F</b>
<b>Model</b>	2	1614,68222	807,34111	20,6875	0,00203
<b>Error</b>	6	234,15333	39,02556		
<b>Total</b>	8	1848,83556			

Analisando os dados apresentados na Tabela 9 é possível afirmar que há diferença entre as médias de remoção de fluido no resíduo aquoso-oleoso com diferentes pressões (2MPa, 4,2 MPa e 6 MPa), pois o valor de F (20,6875) é maior que o valor de F tabelado (0,00203). A partir dessa confirmação é possível realizar o teste de Tukey visando identificar quais as médias que diferem significativamente entre si. Os resultados são demonstrados na Tabela 10.

Tabela 9: Teste de Tukey com um critério de classificação para o resíduo aquoso-oleoso

	MeanDiff	SEM	qValue	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
<b>4,2 MPa - 6,4 MPa</b>	18,3	5,10069	5,07384	0,02679	0,05	1	2,64931	33,95069
<b>2 MPa - 6,4 MPa</b>	32,73333	5,10069	9,07562	0,00164	0,05	1	17,08264	48,38402
<b>2 MPa - 4,2 MPa</b>	14,43333	5,10069	4,00178	0,06726	0,05	0	-1,21736	30,08402

Através dos resultados do teste de Tukey, pode-se afirmar que há diferença significativa entre as médias das pressões 4,2 MPa e 6,4 MPa bem como 2 MPa – 6,4 MPa, uma vez que a Sig (significância) é igual a 1, ou seja, os resultados obtidos entre essas pressões diferem entre si estatisticamente. Porém, ao compararmos as médias das pressões 2 MPa e 4,2 MPa é possível afirmar que não há diferença significativa, pois o Sig (significância) é igual a 0. Portanto, com base nos dados da Tabela 10 e Tabela 7, é possível afirmar que, estatisticamente, os melhores valores de remoção de fluido do resíduo aquoso ocorreram com uma pressão de 6,4 MPa.

Como forma de quantificar o teor de óleo, foram separadas amostras e analisado o teor de óleos e graxas e umidade para os ensaios cujos resultados apresentaram os melhores valores de remoção de fluido, ou seja, ensaios submetidos a pressão de 6,4 MPa. Os resultados as análises estão presentes na Tabela II do ANEXO A. Os valores médios e desvio padrão estão demonstrados na Tabela 11:

Tabela 10: Valores médios ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) do teor de óleo e umidade da amostra bruta e prensada do resíduo aquoso-oleoso

	<b>Prensagem do resíduo aquoso-oleoso em laboratório</b>			
	<b>Amostra bruta</b>		<b>Amostra prensada</b>	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
<b>Óleos e Graxas (%)</b>	5,1	± 0,4	3,9	± 0,4
<b>Umidade (%)</b>	31,4	± 3,6	24,1	± 3,1
<b>Total de fluidos (%)</b>	36,5		28,0	

Apesar do volume de fluido removido (121 mL/kg) a compressão do resíduo aquoso reduziu em apenas 23,5% o teor de óleo inicial e em 29,3% o teor de umidade. Estes valores são parecidos aos obtidos por Tramontina et al (1998) (Tabela 4), cujos valores de óleo, mesmo

a pressões mais elevadas não ultrapassaram a 40%. Essa baixa eficiência pode ser explicada pela amostra já ter um baixo conteúdo de óleo. Em termos globais, a remoção de fluidos (óleo e água) foi de 23,3%.

#### 4.2.2 Ensaio de compressão com resíduo oleoso

Os resultados de remoção de fluidos do resíduo oleoso em função da pressão e temperatura estão expressos na Tabela VI do ANEXO B. Na Tabela 12 estão apresentados os valores médios e o desvio padrão.

Verifica-se que as maiores remoções de óleo diesel ocorreram com a pressão de 6,4 MPa, seguido da pressão de 4,2 MPa e 2 MPa. O melhor desempenho ocorreu, para todas as pressões, a 23°C. Nesta temperatura, os valores removidos de fluidos foram de 193,3 mL/kg para 2MPa, 235,0 mL/kg para 4,2 MPa e 259,5 mL/kg para 6,4 MPa. Na Figura 29 é apresentado um gráfico com os valores médios de remoção do fluido em função da pressão e temperatura.

Tabela 11: Valores médios ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) de remoção de fluido em mL/kg para o resíduo oleoso

Pressão	Temperatura					
	0°C		23°C		60°C	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
<b>2 MPa</b>	123,3	±6,7	193,3	±16,4	146,7	±12,0
<b>4,2 MPa</b>	180,6	±12,7	235	±4,4	213,3	±10,1
<b>6,4 MPa</b>	225,5	±6,9	259,5	±6,9	255,0	±11,7

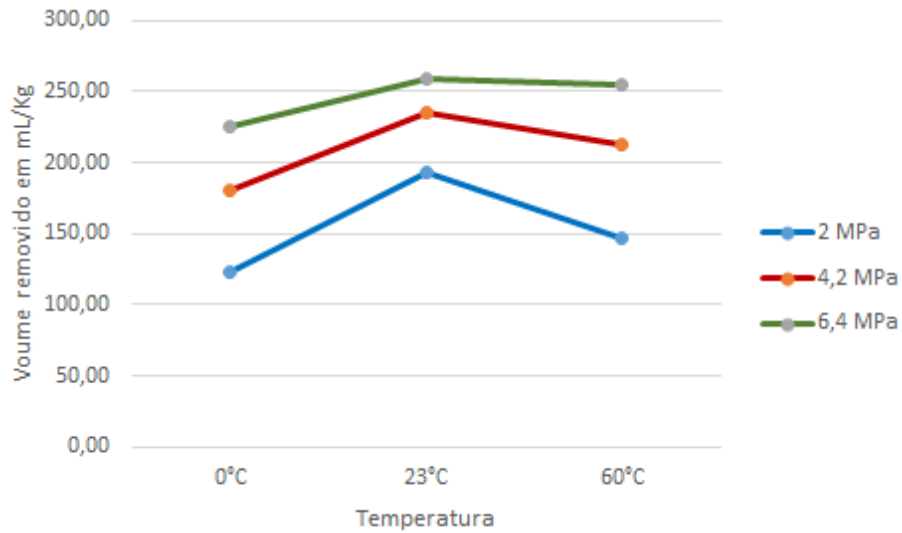


Figura 29: Valores médio de remoção de fluido com aplicação de diferentes pressões e temperaturas

Ao final de cada ensaio, a amostra passou de um estado liquefeito para uma situação mais compacta (torta). Na figura 30 é apresentado o resíduo oleoso compactado (torta).



Figura 30: Resíduo oleoso após a compactação

A Figura 31 mostra a fase líquida recuperada. Pela coloração, pode-se observar o predomínio do óleo.



Figura 31: Fluido recuperado através da compressão do resíduo oleoso

Nas Figuras 32, 33 e 34 estão apresentados o aspecto final das amostras obtidas após a prensagem nas diferentes pressões e temperaturas.



Figura 32: Resíduo oleoso prensado a 0°C (esquerdo - 6,4 MPa, centro - 4,2 MPa e direita - 2 MPa)



Figura 33: Resíduo oleoso prensado a 23°C (esquerdo - 6,4 MPa, centro - 4,2 MPa e direita - 2 MPa).



Figura 34: Resíduo oleoso prensado a 60°C (esquerdo - 6,4 MPa, centro - 4,2 MPa e direita - 2 MPa).

Pela análise visual das Figuras 32, 33 e 34 é possível observar que há diferenças nos diferentes tratamentos aplicados, uma vez que quanto mais escura e mais liquefeita é a amostra, maior é o teor de óleo diesel presente.

Para verificar se houve diferenças estatísticas entre os resultados dos diferentes tratamentos, os valores de remoção de óleo diesel foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) com dois critérios de classificação (“two way”) usando o teste de Tukey como forma de verificar se as médias diferem entre si.

Como pré-requisito para uma análise de variância, é necessário que os dados possuam uma distribuição normal. Como forma de verificar essa condição os valores obtidos foram submetidos a uma análise de normalidade dos dados através do teste de Shapiro-Wilk. O resultado é demonstrado na tabela 13:



Tabela 12: Análise de normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk para o resíduo oleoso

	<b>DF</b>	<b>Statistic</b>	<b>Prob&lt;W</b>
<b>Resíduo Oleoso</b>	27	0,9365	0,09989

Através dos dados da Tabela 13 é possível afirmar que, a uma significância de 0,05, os dados possuem uma distribuição normal uma vez que o valor calculado (0,9365) é maior que o valor tabelado (0,09989).

Após a confirmação da normalidade dos dados os mesmos foram submetidos à análise ANOVA. Os resultados são demonstrados na Tabela 14.

Tabela 13: Análise ANOVA para o resíduo oleoso

	<b>DF</b>	<b>Sum of Squares</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>P Value</b>
<b>Fator A (Temperatura)</b>	2	12567,16519	6283,58259	38,94318	5,91673E-8
<b>Fator B (Pressão)</b>	2	38766,65852	19383,32926	120,13026	1,4474E-12
<b>Model</b>	4	51333,8237	12833,45593	79,53672	9,35363E-13
<b>Error</b>	22	3549,75704	161,35259	--	--
<b>Corrected Total</b>	26	54883,58074	--	--	--

Analisando os dados apresentados na Tabela 14 é possível afirmar que há diferença entre as variáveis do fator A (temperatura - 0°C, 23°C e 60°C) e do fator B (pressão – 2 MPa, 4,2 MPa e 6,4 MPa) uma vez que os valores de F são maiores que os valores de P. A partir dessa confirmação é possível realizar o teste de Tukey com dois critérios de classificação, visando identificar quais as médias que diferem significativamente entre si. Os resultados são demonstrados na Tabela 15.

Tabela 14: Teste de Tukey com dois critérios de classificação A (temperatura) e B (pressão)

<b>Fator A</b>	<b>MeanDiff</b>	<b>SEM</b>	<b>qValue</b>	<b>Prob</b>	<b>Alpha</b>	<b>Sig</b>	<b>LCL</b>	<b>UCL</b>
<b>23°C – 0°C</b>	52,78889	5,988	12,4674	0	0,05	1	37,74666	67,83112
<b>60°C – 0°C</b>	28,52222	5,988	6,73623	2,66021E-4	0,05	1	13,47999	43,56445
<b>60°C – 23°C</b>	-24,26667	5,988	5,73117	0,00148	0,05	1	-39,3089	-9,22444

<b>Fator B</b>	<b>MeanDiff</b>	<b>SEM</b>	<b>qValue</b>	<b>Prob</b>	<b>Alpha</b>	<b>Sig</b>	<b>LCL</b>	<b>UCL</b>
<b>4,2 MPa – 6,4 MPa</b>	-37,03333	5,988	8,74633	9,1641E-6	0,05	1	-52,07556	-21,9911
<b>2 MPa – 6,4 MPa</b>	-92,22222	5,988	21,78055	0	0,05	1	-107,26445	-77,1799
<b>2 MPa – 4,2 MPa</b>	-55,18889	5,988	13,03422	0	0,05	1	-70,23112	-40,1466

Através da análise estatística, pode-se afirmar que há diferença significativa entre as médias do teste A (temperatura) e do teste B (Pressão) uma vez que a Sig (significância) é igual a 1. Portanto, com base nos dados da Tabela 15 e da Tabela 12, é possível afirmar que os melhores valores de remoção de óleo diesel ocorreram com uma pressão de 6,4 MPa e uma temperatura de 23 °C.

Pelos resultados obtidos, constata-se que o processo de compressão é afetado negativamente quando as temperaturas encontram-se com valores extremos. Os ensaios com 0°C apresentaram os piores valores de remoção. É provável que o óleo diesel tenha aumentado a sua densidade dificultando a separação entre as fases. Já com a temperatura de 60°, apesar do possível ganho de fluidez, o que caracterizaria uma maior facilidade de separação entre a fase sólida e líquida, não houve uma recuperação maior de óleo diesel quando comparado aos resultados de 23°C. Uma possível explicação seria que em temperaturas mais elevadas ocorra um aumento da penetração do óleo na ágata, talvez em poros de mínimo tamanho. O óleo presente nestas cavidades não estaria suscetível de remoção pela prensagem.

Como forma de quantificar o teor de óleo foram separadas amostras cujos resultados apresentaram os melhores valores de remoção de óleo diesel e fluido, ou seja tratamento de 23°C e 6,4 MPa para o resíduo oleoso, e analisado o teor de óleos e graxas e umidade. Os resultados das análises estão na Tabela III, presente no ANEXO A. Os valores médios e desvio padrão são demonstrados na Tabela 16:

Tabela 15: Valores médios ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) do teor de óleo e umidade para o resíduo oleoso (23°C com 6,4 MPa)

	<b>Prensagem do resíduo oleoso em laboratório</b>			
	<b>Amostra resíduo oleoso</b>		<b>Amostra prensada</b>	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
<b>Óleos e Graxas (%)</b>	19,0	$\pm 1,7$	3,6	$\pm 0,1$
<b>Umidade (%)</b>	8,4	$\pm 0,8$	3,5	$\pm 1,0$
<b>Total (%)</b>	27,4		7,1	

A compressão do resíduo oleoso em laboratório reduziu em aproximadamente 81,1% o teor de óleo inicial e em 58,3% o teor de umidade. Considerando os dois fluidos, houve uma redução de 74,1%, o que representa uma diminuição significativa de volume final.

Os valores finais de óleos no resíduo aquoso-oleoso (3,9%) e no oleoso (3,6%), após o processo de prensagem, apresentaram resultados semelhantes. Destaca-se, contudo, o fato de que o resíduo aquoso-oleoso apresentar um teor de óleos muito baixo na entrada do processo devido a separação prévia por extração em água.

Ao analisar a umidade final, observa-se que o resíduo oleoso apresenta um valor muito inferior quando comparado ao resíduo aquoso. Quando extrapolado para escala industrial, isso implica em menor espaço para seu armazenamento e um menor custo para transporte e disposição.

#### 4.3 COMPRESSÃO COM UMA PRENSA INDUSTRIAL

Na figura 35 é mostrado o resíduo oleoso alocado na prensa industrial.



Figura 35: Filtro com o resíduo oleoso na prensa industrial

O ensaio, desde a preparação da amostra até a sua prensagem, levou em média 5 min para ser executado. O resíduo oleoso, após a prensagem, apresentou uma redução de volume significativa, como é possível verificar pela imagem da Figura 36. O aspecto geral do resíduo prensado é apresentado na Figura 37.



Figura 36: Filtro com resíduo oleoso prensado



Figura 37: Resíduo oleoso prensado na prensa industrial

Como forma de quantificar o teor de óleo ao final do ensaio com a prensa industrial, separou-se uma amostra e analisou-se o teor de óleos e umidade. Os resultados das análises estão na Tabela IV do ANEXO A. Os valores médios e desvio padrão estão resumidos na Tabela 17.

Tabela 16: Valores médios ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) do teor de óleo e umidade para o ensaio com a prensa industrial

	<b>Prensagem do resíduo oleoso em prensa industrial</b>			
	<b>Amostra resíduo oleoso</b>		<b>Amostra prensada</b>	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
<b>Óleos e Graxas (%)</b>	19,0	$\pm 1,7$	2,7	$\pm 0,5$
<b>Umidade (%)</b>	8,4	$\pm 0,8$	3,7	$\pm 0,4$
<b>Total (%)</b>	27,4		6,4	

A compressão do resíduo oleoso em uma prensa industrial reduziu em aproximadamente 85,8% o teor de óleo inicial e em 56% o teor de umidade. No total, considerando ambos os fluidos, houve uma redução de 76,6%, valor próximo ao obtido nos ensaios em escala laboratorial.

A utilização da prensa industrial apresentou o menor valor de óleos e graxas e a melhor eficiência quando comparado aos experimentos realizados em escala laboratorial. Isso pode ser explicado pela maior pressão aplicada.

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO PÓ DE ÁGATA

Na Figura 38 é apresentada a distribuição granulométrica do pó de ágata após o processo de remoção de óleos por extração por solventes. Analisando a curva granulométrica do pó de ágata, a distribuição do tamanho de partículas é muito parecida com a medida por Tramontina (1998), Cavelhão (2011) e Cechin (2011). Aproximadamente 95% do material apresenta granulometria abaixo de 75  $\mu\text{m}$  e um D50 medido em 10  $\mu\text{m}$ .

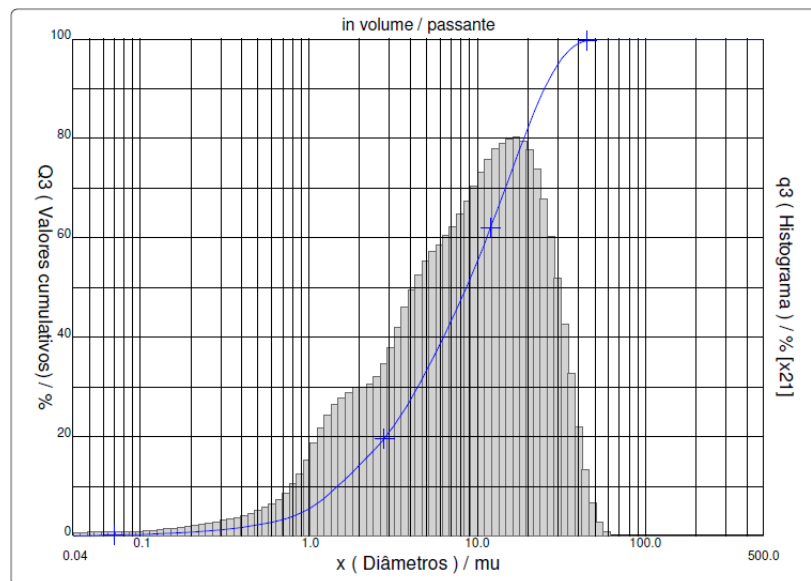


Figura 38: Curva granulométrica do pó de ágata

A Figura 39 apresenta a análise por Difração de raio X. Pode-se afirmar que o pó de ágata tem como material predominante o dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ). O resultado obtido é semelhante ao da pesquisa realizada por Tramontina et al (1998) e Betat et al. (2009). Os resultados obtidos já eram esperados uma vez que a ágata é composta por quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), em forma amorfa, criptocristalina e cristalina.

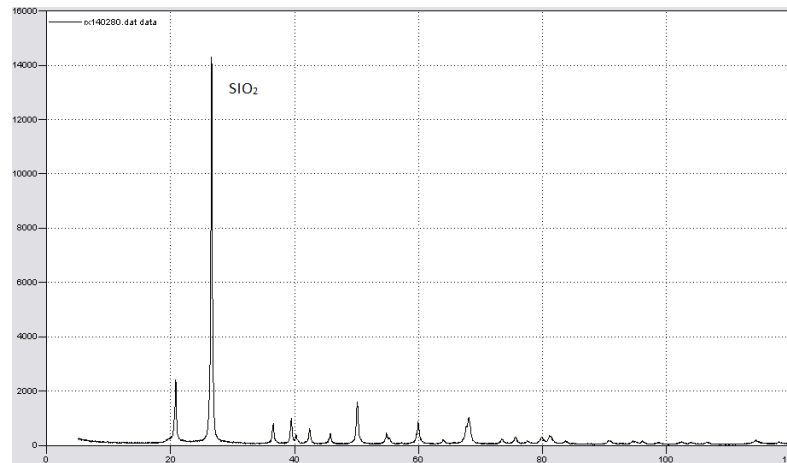


Figura 39: Difração por raio X do pó de ágata

As tabelas 18 e 19 apresentam os resultados da análise elementar por fluorescência de raios-x (FRX) do pó de ágata.

Tabela 17: Análise por elemento do pó de ágata

Composto	Concentração	Unidade
Si	99.373	%
K	0.037	%
Ca	0.15	%
Mn	0.018	%
Fe	0.422	%

Tabela 18: Análise por óxido do pó de ágata

Composto	Concentração	Unidade
SiO <sub>2</sub>	99.728	%
K <sub>2</sub> O	0.014	%
CaO	0.066	%
MnO	0.007	%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.185	%

A análise elementar por fluorescência de raios-x (FRX) do pó de ágata, presente na tabela 18 e figura 40 teve como principal elemento o silício (SI) com 99,37% seguido do ferro (Fe) com 0,42%. O principal óxido presente na amostra (tabela 19) foi o dióxido de silício SiO<sub>2</sub>

com 99,73% seguido do óxido férrico  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  com 0,19%. Os resultados corroboram com os obtidos na análise de difração por raio x, onde o material predominante foi o  $\text{SiO}_2$ .

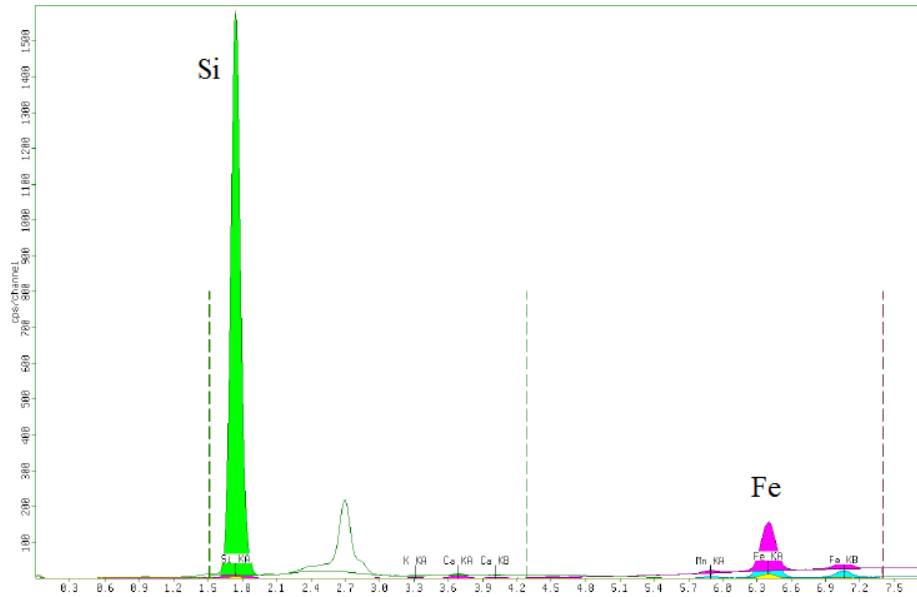


Figura 40: Espectrograma do pó de ágata

É possível notar que o lodo aquoso/oleoso é composto praticamente de sílica, resultado que já era esperado devido a composição dos geodos

Com o material previamente prensado, ou seja, com baixos teores de óleo alguns usos podem ser indicados. Um deles é a incorporação do resíduo em agregados cerâmicos leves, uma vez que para a confecção desse material é necessário que a matéria prima possua teores de óleos. Outro destino pode ser em cerâmica vermelha como o indicado por Bruxel (2011).



## 5. CONCLUSÃO

O lodo oleoso é um problema ambiental e econômico para o setor de beneficiamento de ágatas pois, atualmente, não possui uma destinação adequada ou um método eficiente de recuperação do óleo diesel.

O método empírico por extração com água praticado por algumas empresas é eficiente porém leva muito tempo para ser realizado e acrescenta peso e volume a amostra através da utilização da água, por isso se caracteriza por ser útil para pequenos empreendimentos para retirada do óleo mas não é recomendado para tratar grandes volumes do resíduo.

Com base nos dados obtidos nos ensaios realizados em escala laboratorial, é possível afirmar que os melhores resultados ocorreram com 6,4 MPa e 23°C (3,6 % de óleos e graxas e 2,4% de umidade) para o resíduo oleoso e 6,4 MPa (3,5% de óleos e graxas e 21,9% de umidade) para o resíduo aquoso. Os ensaios com a prensa industrial apresentaram resultados satisfatórios (2,7% de óleos e graxas e 3,7% de umidade), sendo obtido o menor teor de óleos e graxas no resíduo com a sua utilização.

Pode-se concluir que a prensagem é um método satisfatório e viável na recuperação de óleos do resíduo da serragem de ágatas. Em relação à fração sólida, esta apresenta melhores condições para o aproveitamento na cerâmica vermelha e agregados cerâmicos leves ou, alternativamente, em processos complementares que visam a remoção total do óleo (extração por solventes ou processos biológicos).

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a) Implantar uma prensa industrial em caráter experimental para tratar os resíduos da serragem de ágatas;
- b) Verificar a possibilidade de incorporação do resíduo prensado em cerâmica vermelha ou agregados leves;
- c) Realizar estudos de extração do óleo diesel remanescente no resíduo prensado através de processos biológicos.

## REFERÊNCIAS

APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. Washington, 2005.

BETAT, E.F.; PEREIRA, F.M.; VERNEY, J. C. K. de. Concretos produzidos com resíduos do beneficiamento de ágata: avaliação da resistência à compressão e do consumo de cimento. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 1047 – 1060, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rmat/v14n3/a16v14n3.pdf>> Acesso em: 04 de janeiro de 2014.

BRUM, I. A. S. de; SILVA, R. A. Sistemas de tingimento de ágatas. **Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração**, Porto Alegre, v. 1, n. 15, p. 233 – 247, 2010.

BRUXEL, F. R. **A problemática dos resíduos provenientes do setor de gemas: avaliação da incorporação de lodo de gemas na massa cerâmica**. 2011. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento) – Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2011.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. Bioestatística princípios e aplicações. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CARISSIMI, E.; SCHNEIDER, I. A. H. Tratamento e aproveitamento continuado da água na indústria de pedras preciosas de Soledade, RS. **Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração**, Porto Alegre, v. 1, n. 13, p. 181 – 193, 2010.

CAVELHÃO, G. **Biorremediação de resíduo contaminado com diesel proveniente do beneficiamento de geodos de ágata**. 2011. 57 f. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Ambiental, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~engeamb/TCCs/2011-2/Gabriel%20Cavelh%E3o.pdf>>. Acesso em: 08 de setembro de 2013.

CECCHIN, I. **Descontaminação de resíduo contaminado com diesel com aplicação de soilwashing modificado**. 2011. 84 f. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Ambiental, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~engeamb/TCCs/2011-2/Iziquiel%20Cecchin.pdf>>. Acesso em: 08 de setembro de 2013.

CHIARO, S. M. X. **Reação álcali-agregado em concretos brancos com agregados miúdos reciclados de ágata**. 2012, 78 f. Trabalho de diplomação apresentado como parte de requisito para obtenção do título de Engenheiro Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/65441/000864073.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 19 de outubro de 2013.

DAMBROS, V, de S. **Processo de tingimento de ágatas: medidas de produção mais limpa e estudos de detoxificação do efluente**. 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2008. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp067230.pdf>>. Acesso em: 23 de setembro de 2013.

DUARTE, L.C.; HARTMANN, L.A.; MEDEIROS, J.T.N.; JUCHEM, P.L. Origem epigenética-hidrotermal dos geodos de ametista ágata na província vulcânica do Paraná. In: **Metalogenia e Exploração Mineral no Grupo Serra Geral**. Porto Alegre: UFRGS: Instituto de Geociência, p. 21-39, 214.

FENSTERSEIFER, H. C. A ametista e a ágata no Vale do Taquari, RS – um contexto histórico e o desenvolvimento do Programa em Rede de Arranjos Produtivos Locais de Base Mineral. **Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração**, Porto Alegre, v. 1, n. 13, p. 285 – 302, 2010.

FOLLE, D. et al. Cenário do licenciamento ambiental das indústrias extratoras de pedras preciosas do Alto da Serra do Botucaraí. **Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração**, Porto Alegre, v. 1, n. 13, p. 77 – 90, 2010.

FUERSTENAU, M.; MILLER, J.D.; KUHN, M.C. **Chemistry of flotation**. Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, 1985. 177 p.

GREVE, G.; DUARTE, L. da C. Ensaio para o (re)uso do efluente inorgânico vermelho do tingimento de ágata para coloração de riodacito. **Mostra de pesquisas, produtos e tecnologias aplicadas ao arranjo produtivo de gemas e joias do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, v. 1, n. 12, p. 54 – 58, 2013.

HARTMANN, L. A. Minerais estratégicos do sul do Brasil: geologia de geodos de ametista e ágata. **Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração**, Porto Alegre, v. 1, n. 13, p. 30 – 40, 2010.

IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. Cidades@: área da unidade territorial. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 02 de março de 2014.

IPAR, C. E. de A. e L.; ZANATTA, A. L.; ZIBETTI, T. F. Avaliação do processo de serragem de ágata em uma pequena indústria de Soledade. **Mostra de pesquisas, produtos e tecnologias aplicadas ao arranjo produtivo de gemas e joias do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, v. 1, n. 18, p. 78 – 82, 2013.

ITS BRASIL, Instituto de Tecnologia Social do Brasil. **Conceito de ciência, tecnologia e inovação**. Disponível em: <<http://www.itsbrasil.org.br/conceito-de-ciencias-tecnologia-e-inovacao>> Acesso em: 18 de outubro de 2013.

JUCHEM, P. L. et al. Potencial gemológico da região sul do Brasil. In: SEMINÁRIO SOBRE DESIGN E GEMOLOGIA DE PEDRAS, GEMAS E JOIAS DO RIO GRANDE DO SUL, 1., 2009, Soledade. **Anais**. Soledade, 2009. Disponível em: <[http://usuarios.upf.br/~ctpedras/sdgem/artigos/Art22\\_Juchem\\_FINAL.pdf](http://usuarios.upf.br/~ctpedras/sdgem/artigos/Art22_Juchem_FINAL.pdf)>. Acesso em: 17 de setembro de 2013.

JUCHEM, P. L.; BRUM, T. M. M. de; RIPPOL, V. M. O laboratório de gemologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração**, Porto Alegre, v. 1, n. 10, p. 133 – 148, 2010.

JUCHEM, P.L. Mineralizações de ametistas em riodacitos do Grupo Serra Geral, província vulcânica Paraná. In: **Metalogenia e Exploração Mineral no Grupo Serra Geral**. Porto Alegre, UFRGS: Instituto de Geociência, p. 41 – 54, 2014.

LAIMER, V. R. **Avaliação do desempenho ambiental das empresas associadas ao Sindipedras de Soledade- RS**. 2008, 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2008. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp104286.pdf>>. Acesso em: 17 de setembro de 2013.

MORAES, L; REOLON, R. Avaliação da incorporação de lodo residual de gemas à argila expansiva para desenvolvimento de agregados leves. **Trabalho da Disciplina Tópicos Especiais em Meio Ambiente**. Porto Alegre, PPGE3M, 2013.

PICOLOTTO, G. **Proposta de produção mais limpa aplicada em uma empresa de beneficiamento de pedras preciosas em soledade – RS**. 2013. 73 f. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Ambiental, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2013. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~engeamb/TCCs/2013-1/Gecielle%20Picolotto.pdf>>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2013.

RIO GRANDE DO SUL. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. Portaria n° 16/2009. Porto Alegre, 2009.

ROISENBERG, A.; VILASBÔAS, F. da S. Impacto Ambiental do beneficiamento de ágatas na região de Soledade, RS. **Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração**, Porto Alegre, v. 1, n. 14, p. 193 – 205, 2010.

ROSA, F. D.; THOMÉ, A.; DONATO, M. Análise da viabilidade técnica da aplicação do resíduo da rolagem de pedras preciosas em estruturas de pavimentos urbanos. **Tecnologia e inovação em gemas, joias e mineração**, Porto Alegre, v. 1, p. 91 – 98, 2014.

SINDELAR, F. C. W.; BARDEN, J. E.; STULP, S. Análise da geração de resíduos em uma indústria beneficiadora de gemas: Um estudo de caso visando o reuso. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 4., 2013. São Paulo. **Anais**. Disponível em: <[http://www.advancesincleanerproduction.net/fourth/files/sessoes/4B/4/sindelar\\_et\\_al\\_work.pdf](http://www.advancesincleanerproduction.net/fourth/files/sessoes/4B/4/sindelar_et_al_work.pdf)>. Acesso em: 12 de janeiro de 2014.

SILVA, J.T.; HARTAMANN, L.A.; HAUSCHILD, C.A. o Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Jóias do Rio Grande do Sul no ambiente de um arranjo produtivo local. **Tecnologias para o Setor de Gemas, Jóias e Mineração**. Porto Alegre, v. 1, n 1, p.17-29, 2010

SINDIPEDRAS. **Quem Somos**. Disponível em: <http://www.sindipedras.com.br/ver/quem-somos>>. Acesso em: 30 de março de 2013.

THOMÉ, A. et al. Diagnóstico dos resíduos gerados pelo setor de pedras preciosas do município de Soledade/RS. **Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração**, Porto Alegre, v. 1, n. 7, p. 90 – 106, 2010.

THOMÉ, A.; DALLA ROSA, F.; FLOSS, M.R.; ORSO, J.M.; BENEDETTI, D. Análise do potencial de utilização do resíduo de rolagem de pedras semipreciosas na estabilização de solos. In IV Simpósio Brasileiro de Geossintéticos e V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, 2003, Porto Alegre. **Anais...** 2003.

TRAMONTINA, L.; CASAGRANDE, L.; SCHNEIDER, I. A. H. Caracterização e Aproveitamento do Resíduo da Serragem de Pedras Semi-Preciosas do RS. In: 2o Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais, 1997, São Paulo. **Anais...** ABM, 1997. v. CD ROM.

TRAMONTINA, L., CASAGRANDE, L., GEYER, André, SCHNEIDER, I. A. H. Reciclagem do Resíduo da Serragem de Ágatas e Ametistas para o Aproveitamento em Argamassas na Construção Civil In: XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 1998, Águas de São Pedro. **Anais ....** . São Paulo: ABM, 1998. v.2. p.77 - 86

VENQUIARUTO, S.; OSSORIO, A.; ZANINI, C.; PASSUELO, A.; KIRCHHEIM, A. P.; DAL MOLIN, D. C. C.; MASUERO, A. Aproveitamento de resíduos de ágata reciclada em materiais cimentícios sustentáveis. **Tecnologia e inovação em gemas, joias e mineração**, Porto Alegre, v. 1, p. 99 – 106, 2014.

VILASBÔAS F. da S.; SCHNEIDER, I. A. H.; SILVA, J. T. da. Diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos oriundos do processo de beneficiamento de ágata. **Mostra de pesquisas, produtos e tecnologias aplicadas ao arranjo produtivo de gemas e joias do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, v. 1, n. 13, p. 58 – 62, 2013.

## ANEXO A – VALORES DOS ENSAIOS DE ÓLEOS E GRAXAS E UMIDADE

Valores dos ensaios de óleos e graxas e umidade para o tratamento empírico com o resíduo oleoso:

Tabela I: Valores de óleos e graxas e umidade presentes no resíduo oleoso bruto e após extração com água

	<b>Resíduo após extração com água</b>			
	<b>Amostra Bruta</b>		<b>Amostra agitada</b>	
	<b>Óleos e Graxas (%)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Óleos e Graxas (%)</b>	<b>Umidade (%)</b>
<b>Amostra 1</b>	21,0	9,3	5,5	34,5
<b>Amostra 2</b>	17,8	8,5	5,2	32,3
<b>Amostra 3</b>	18,2	7,8	4,7	27,5

Valores dos ensaios de óleos e graxas e umidade para a prensagem do resíduo aquoso com 6,4 MPa:

Tabela II: Valores de óleos e graxas e umidade presentes no resíduo aquoso bruto após extração com água e no resíduo prensado com 6,4 MPa

	<b>Resíduo Aquoso</b>			
	<b>Amostra Bruta</b>		<b>Amostra prensada</b>	
	<b>Óleos e Graxas (%)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Óleos e Graxas (%)</b>	<b>Umidade (%)</b>
<b>Amostra 1</b>	5,5	34,5	4,2	27,7
<b>Amostra 2</b>	5,2	32,3	3,5	21,9
<b>Amostra 3</b>	4,7	27,5	4,1	22,7

Valores dos ensaios de óleos e graxas e umidade para a prensagem do resíduo oleoso com 6,4 MPa e 23°C:

Tabela III: Valores de óleos e graxas e umidade presentes no resíduo oleoso bruto e após prensagem com 23°C e 6,4 MPa

	<b>Resíduo Oleoso</b>			
	<b>Amostra Bruta</b>		<b>Amostra prensada</b>	
	<b>Óleos e Graxas (%)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Óleos e Graxas (%)</b>	<b>Umidade (%)</b>
<b>Amostra 1</b>	21,0	9,3	3,7	4,4
<b>Amostra 2</b>	17,8	8,5	3,6	3,7
<b>Amostra 3</b>	18,2	7,8	3,4	2,4

Valores dos ensaios de óleos e graxas e umidade para a prensagem do resíduo oleoso com prensa industrial:

Tabela IV: Valores de óleos e graxas e umidade presentes no resíduo oleoso após ensaio com a prensa industrial

	<b>Amostra Bruta</b>		<b>Amostra prensada</b>	
	<b>Óleos e Graxas (%)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Óleos e Graxas (%)</b>	<b>Umidade (%)</b>
<b>Amostra 1</b>	21,0	9,3	2,3	3,6
<b>Amostra 2</b>	17,8	8,5	2,6	3,3
<b>Amostra 3</b>	18,2	7,8	3,2	4,1



## ANEXO B – VALORES DE REMOÇÃO DE FLUIDOS POR Prensagem

Prensagem do resíduo aquoso-oleoso:

Tabela V: Valores de remoção de fluido do resíduo aquoso-oleoso à 23°C

<b>Pressão</b>	<b>Resíduo aquoso-oleoso (mL/kg)</b>
<b>2 MPa</b>	81,7
<b>2 MPa</b>	86,7
<b>2 MPa</b>	96,7
<b>4,2 MPa</b>	106,7
<b>4,2 MPa</b>	100
<b>4,2 MPa</b>	113,3
<b>6,4 MPa</b>	123,3
<b>6,4 MPa</b>	116,7
<b>6,4 MPa</b>	123,3

Prensagem do resíduo oleoso:

Tabela VI: Valores de remoção de fluido do resíduo oleoso expressos em mL.

<b>Pressão</b>	<b>Resíduo Oleoso (mL/kg)</b>		
	<b>0°C</b>	<b>23°C</b>	<b>60°C</b>
<b>2 MPa</b>	116,7	175,0	160,0
<b>2 MPa</b>	130,0	206,7	136,7
<b>2 MPa</b>	123,3	198,3	143,3
<b>4,2 MPa</b>	183,3	240,0	201,7
<b>4,2 MPa</b>	166,7	231,7	218,3
<b>4,2 MPa</b>	191,7	233,3	220
<b>6,4 MPa</b>	223,3	251,7	243,3
<b>6,4 MPa</b>	233,3	261,7	266,7
<b>6,4 MPa</b>	220,0	265	255

