



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ITALO ANDRADE VASCONCELOS

**USO DE GEOTÊXTEIS NÃO TECIDOS PARA O DESSECAMENTO DE RESÍDUOS
DA OPERAÇÃO DE CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

NATAL/RN

2019

ITALO ANDRADE VASCONCELOS

**USO DE GEOTÊXTEIS NÃO TECIDOS PARA O DESSECAMENTO DE RESÍDUOS
DA OPERAÇÃO DE CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito final à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fagner A. Nunes de Franca

NATAL/RN

2019

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Vasconcelos, Italo Andrade.

Uso de geotêxteis não tecidos para o dessecamento de resíduos da operação de corte de rochas ornamentais / Italo Andrade Vasconcelos. - 2019.
72 f.: il.

Mestrado (dissertação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Natal, RN, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de França.

1. Rochas Ornamentais - Dissertação. 2. Dessecamento de Resíduos - Dissertação. 3. Geotêxtil - Eficiência - Dissertação. I. França, Fagner Alexandre Nunes de. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 553.5(043.3)

ITALO ANDRADE VASCONCELOS

**USO DE GEOTÊXTEIS NÃO TECIDOS PARA O DESSECAMENTO DE RESÍDUOS
DA OPERAÇÃO DE CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito final à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de Franca – Orientador (UFRN)

Prof. Dra. Maria Del Pilar Durante Ingunza – Examinadora interna (UFRN)

Prof. Dr. André Luis Calado Araújo – Examinador externo (IFRN)

Natal, 30 de julho de 2019.

A Deus que por intercessão da Nossa Senhora, permitiu que fosse possível essa conquista. À minha família, meus amigos, professores e a todos, sem exceção, que contribuíram com essa vitória, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Á Deus que sempre esteve ao meu lado me intercedendo e me guiando durante toda essa caminhada, me fornecendo paz e saúde para que eu pudesse concluir a mesma.

Á Nossa Senhora mãe de Deus que sempre esteve comigo, em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais Fabio A. Vasconcelos da Costa e Ionalda Lopes de Andrade que sempre se esforçaram ao máximo para que eu pudesse concluir mais essa etapa, tanto financeiramente quanto psicologicamente.

Á meu irmão Felipe Andrade Vasconcelos pelo companheirismo e incentivo durante todos esses anos.

Aos meus amigos que moraram comigo, Manoel Leandro e Felipe Augusto que estavam sempre ao meu lado.

Á meu professor e orientador Fagner Alexandre Nunes de Franca que sempre, com sua imensa bombade, esteve ao meu lado e me auxiliou quando mais precisei.

Á todos os professores e auxiliares da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, que sempre se manteve em prontidão para me auxiliar.

Á todos os funcionários que trabalham no Laboratório de Mecânica de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte que sempre se mostram em prontidão para me auxiliar nessa pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Aos meus amigos Wam Hannoh e Julia Cunha, que se tornaram membros diretos dessa pesquisa e que se esforçaram sempre que possível.

Aos meus amigos e alunos da UFRN que sempre estavam me incentivando e dando forças, amigos esses que levar para o resto da minha vida, em especial a Paulo Leite, Manoel Queiroz, Letícia Azevedo, Milany Medeiros, Anderson Dantas e todos os outros os quais não pude listar.

Á empresa de marmoraria MS Marmores a qual forneceu o seu espaço para que pudesse ser coletada as amostras necessárias para essa pesquisa.

Ao PEC por sempre dispor das condições necessárias para o meu desenvolvimento técnico e científico, fatores fundamentais para a conclusão dessa pesquisa.

“Seja a mudança que você quer ver no mundo. ”

Mahatma G

RESUMO

Nos últimos anos a produção de rochas ornamentais vem sendo intensificada no Brasil, com o crescimento da demanda na confecção de peças ornamentais, houveram preocupações quanto a quantidade de resíduos produzidos e sua correta condução, tendo em vista que durante o processo de corte e polimento da rocha é utilizado água para o resfriamento do disco diamantado. Com isso, a água utilizada carrega consigo partículas sólidas da rocha, resultando em uma lama abrasiva que são conduzidas, no Brasil, para sistemas de fossas sépticas e esgotos causando assoreamento dos cursos d'água devido a deposição dos sólidos ou são submetidas a processos de decantação com o reuso da água, porém esse procedimento além de possuir pouca efetividade demora um certo tempo para a conclusão do dessecamento tendo em vista a fina gramatura apresentada pelo material sólido contido na lama. Mediante tal fato, tendo ciência da eficiência comprovada pelo uso de geotêxteis no dessecamento de materiais com pequenas granulometrias, o presente estudo buscou avaliar o dessecamento do lama produzida nas marmorarias com o uso de três diferentes tipos de geotêxteis, para isso, foi desenvolvido um protótipo com pequenas dimensões no qual foi inserido o geotêxtil em seu interior e em seguida foram realizados sucessivos enchimentos que simbolizaram os enchimentos realizados entre as etapas de corte de uma marmoraria, observando o comportamento da vazão e a redução do teor de sólidos passantes pelo protótipo desenvolvido em cada enchimento e para cada geotêxtil em estudo. Com o experimento realizado observou que os geotêxteis possuíam um comportamento típico na vazão escoada ao longo do tempo, independente do geotêxtil utilizado, além de uma redução significativa no teor de sólidos passantes pelo protótipo mostrando a eficiência do uso do geotêxtil para o dessecamento deste tipo de lama abrasiva. Por fim, foi observado que o GTX300 obteve a melhor resposta na redução do teor de sólidos passantes e uma melhor distribuição da vazão ao longo do tempo.

Palavras-chave: Dessecamento; Rochas ornamentais; Geotêxtil; Eficiência.

ABSTRACT

In the past years the production of ornamental rocks have been intensified at Brazil, with the demand increase on the confection of ornamental pieces there were concerns about the amount of waste produced and its correct conduction, considering that during the process of cutting and polishing of rock, the water is used for the refrigerated the diamond disc. With that, the water used to carry the solids particles of the rock, resulting in an abrasive sludge that are generally conducted, in Brazil, to septic tank and sewage systems causing silting of the water courses due to the deposition of the solids or the sludge were deposit for decantation processes with the reuse of water. But this procedure has little effectiveness and it takes a long time to complete the desiccation because of the thinness of the solid material contained in the slurry. Due to this fact, has been known of the efficiency to use geotextiles in the desiccation of materials with small particle sizes. The present study sought to evaluate the dewatering of the sludge produced in the marble industry using three different types of geotextiles. At the beginning it was developed a prototype with small dimensions in which the geotextile was inserted in its interior. Therefore, procedure successive fillings that symbolized the fillings performed between the cutting stages at the marble industry. Observing the flow rate behavior and the reduction of the total solids content through the prototype developed, in each filler and for each geotextile under study. It observed that the geotextiles had a typical behavior in the flow outflow over time, independent of the geotextile used, besides a significant reduction in the solids content of the prototype showing the efficiency of the use of the geotextile for the drying of this type of abrasive sludge. Finally, it was concluded that the GTX300 obtained the best response in the reduction of solids content and a better distribution of the flow over time.

Keywords: Dewatering; Ornamental rocks; Geotextile; Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 –	Cadeia produtiva das rochas ornamentais.....	4
Figura 2.2 –	Tear de lâminas.....	5
Figura 2.3 –	Geotêxtil tecido ampliado 8 vezes, a) geotêxteis multifilamentos b) geotêxtil laminetes	8
Figura 2.4 –	GTX-N agulhado	9
Figura 2.5 –	Protótipo desenvolvido por Huang e Luo (2007)	11
Figura 2.6 –	Fluxo sobre o geotêxtil no qual é possível determinar a permissividade.	14
Figura 2.7 –	Fluxo através da manta geotêxtil para a determinação da transmissividade.....	15
Figura 2.8 –	Esquema do arqueamento formado pelo solo.....	18
Figura 2.9 –	Esquema da formação do filter cake	19
Figura 2.10 –	Curva da vazão x tempo para a areia do porto com teor de humidade de 80% do trabalho de kumaran e Ilamparuthi (2006) para diferentes aberturas de filtração.....	22
Figura 2.11 –	Teor de sólidos encontrados dentro do tubo geotêxtil ensaiado por Silva (2017)	23
Figura 3.1 –	Detalhe do procedimento de corte.....	25
Figura 3.2 –	Adaptações realizadas a) calha utilizada; b) recipiente de coleta.....	25
Figura 3.3 –	Granulometria do rejeito de quatro tipos de rochas.....	26
Figura 3.4 –	Curva granulométrica dos materiais testados.....	27
Figura 3.5 –	Vista lateral (a) e superior (b) da caixa após a modificação.....	28
Figura 3.6 –	Geotêxtil recém cortado (a) e após a sua montagem (b).....	29
Figura 3.7 –	Protótipo com a camada drenante e filtrante.....	30
Figura 3.8 –	Enchimento do protótipo.....	30
Figura 3.9 –	Resultado da vazão do modelo em cada enchimento.....	33
Figura 3.10 –	Sólidos passante no modelo em cada enchimento.....	33
Figura 3.11 –	Procedimento da amostragem para determinação da gramatura.....	35
Figura 4.1 –	Resultado da vazão escoada para o GTX100.....	36
Figura 4.2 –	Resultado da vazão escoada para o GTX200.....	38
Figura 4.3 –	Volume passante pelo protótipo em cada enchimento para o GTX200...	40
Figura 4.4 –	Vazão passante no primeiro enchimento do GTX300.....	40

Figura 4.5 –	Curvas da vazão de todos os enchimentos para os três tipos de geotêxteis estudados.....	42
Figura 4.6 –	Teor de sólidos passante no GTX100.....	43
Figura 4.7 –	Teor de sólidos passante no GTX200.....	44
Figura 4.8 –	Teor de sólidos passante no GTX300.....	46
Figura 4.9 –	Geotêxtil no final dos enchimentos de cada face da camisa polimérica elaborada do GTX300. a) atrás; b) frente; c) Fundo; d) lateral direita; e) lateral esquerda.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 –	Crítérios de permeabilidade (Palmeira, 2003 apud Galvis,2016)	17
Tabela 3.1 –	Propriedades dos geotêxteis.....	28
Tabela 3.2 –	Dados do ensaio modelo.....	32
Tabela 4.1 –	Parâmetros da curva de ajuste para o GTX100.....	37
Tabela 4.2 –	Parâmetros da curva de ajuste para o GTX200.....	38
Tabela 4.3 –	Parâmetros da curva de ajuste para o GTX300.....	41
Tabela 4.4 –	Valor médio de sólidos totais para cada enchimento realizado (mg/L)	46
Tabela 4.5 –	Massa por unidade de área para o GTX100.....	48
Tabela 4.6 –	Massa por unidade de área para o GTX200.....	49
Tabela 4.7 –	Massa por unidade de área para o GTX300.....	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos gerais	2
1.2. Objetivos específicos	2
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1. Rochas Ornamentais	3
2.2. Cadeia produtiva das rochas ornamentais	3
2.2.1. Métodos de lavra	4
2.2.2. Serragem e polimento das chapas	4
2.2.3. Corte e acabamento final	5
2.3. Resíduo proveniente do corte do mármore	6
2.4. Geossintéticos	7
2.5. Uso de geotêxteis para o dessecamento de rejeito	8
2.6. Propriedades relevantes dos geotêxteis para o dessecamento	12
2.6.1. Propriedades físicas	12
2.6.2. Propriedades hidráulicas	13
2.6.3. Resistência mecânica	16
2.7. Comportamento do geotêxtil e do meio a filtrar	16
2.8. Comportamento da vazão e sólidos totais em sistemas filtrantes com geotêxteis não tecido	21
3 MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1. Coleta e caracterização da amostra	24
3.2. Geossintético utilizado	27
3.3. Desenvolvimento do protótipo	28
3.3.1. Camada de brita	28
3.3.2. Configuração do geotêxtil	29
3.4. Procedimento do ensaio	29
3.4.1. Ensaio de modelo	31
3.4.2. Determinação da Vazão escoada e sólidos totais	33
3.4.3. Gramatura dos geotêxteis ensaiado	34
4 RESULTADOS E DISCURSÕES	36
4.1. Vazão escoada no protótipo	36
4.1.1. Resultado obtido para o GTX100	36
4.1.2. Resultados obtidos para o GTX200	37
4.1.3. Resultados obtido para o GTX300	39
4.2. Sólidos passantes no geotêxtil	43
4.2.1. Quantidade de sólidos passante no GTX100	43
4.2.2. Quantidade de sólidos passante no GTX200	44
4.2.3. Quantidade de sólidos passante no GTX300	45
4.3. Gramatura do geotêxtil após os ensaios	47

5 CONCLUSÕES E SUGESTÃO PARA PESQUISAS FUTURAS	51
5.1. Principais conclusões	51
5.2. Sugestões para futuras pesquisas	52
REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

A produção e exportação mundial de rochas ornamentais vem crescendo ano após ano, no qual, o Brasil o sexto maior exportador desta matéria prima, cuja sua produção passou de 1,8Mt/ano no ano de 1920 para 145 Mt/ano em 2016, caso mantenha esse ritmo a expectativa é que a produção Brasileira de rochas ornamentais atinja 150 Mt/ano em 2020 (ABIROCHAS, 2018).

A maior parte da produção Brasileira vem do Espírito Santo, sendo, o Estado do Rio Grande do Norte o quinto maior produtor Brasileiro e o terceiro maior do Nordeste no ano de 2017 (ABIROCHAS, 2018), no qual, a sua produção de rochas ornamentais se intensificou nos anos 90 com a extração de granitos, mármore e quartzitos utilizados, em sua maioria, para fins de revestimento o crescimento desta produção é de fundamental importância para a economia local (CPRM, 2017).

As rochas são extraídas em pedreiras e em seguida são direcionadas as serrarias e marmorarias, no qual representam 61% dos empreendimentos brasileiros conforme Vidal et. al. (2012), nestes empreendimentos as rochas são trabalhadas e refinadas, gerando resíduos sobre forma de lama, conhecida como lama abrasiva. A sua formação é devido ao carreamento das partículas sólidas presentes na rocha pela água utilizada para lubrificar e resfriar o disco diamantado utilizado durante o procedimento de corte. Conforme Gonçalves (2000), a produção Brasileira do pó contido na lama abrasiva é estimada em 240.000 toneladas/ano.

A NBR 10004 (2004) classifica a lama abrasiva como resíduo de Classe IIB – inerte e não apresenta toxicidade, entretanto o seu despejo de forma inadequada e a falta de reaproveitamento dos recursos ainda é um problema enfrentado pelas marmorarias, tendo em vista que a maioria dos rejeitos proveniente das marmorarias são lançados diretamente em recursos hídricos causando o seu assoreamento ou são depositados em tanques para a decantação com a possível reutilização da água, entretanto este último é um procedimento lento devido a granulometria fina do rejeito, interferindo diretamente na produção das empresas (Silva, 2011).

Com o intuito de mitigar tal problema estudos anteriores com os geotêxteis tem-se mostrado bastante eficaz no dessecamento de rejeitos cuja a granulometria é similar a encontrada no rejeito proveniente do corte das rochas ornamentais, podendo ou não ser utilizados floculantes em seu dessecamento (Huang *et al.*, 2011; Maurer *et al.* 2012; Newman *et al.* 2003; Palmeira *et al.* 2010). Mediante tal fato, existe a possibilidade do geotêxtil ser uma

alternativa para tratar os resíduos produzidos nas marmorarias auxiliando na redução do volume da lama e no reaproveitamento da água utilizada no processo.

1.1. Objetivos gerais

O presente trabalho tem como objetivo principal de avaliar o uso do geotêxtil não tecido para o dessecamento da lama abrasiva proveniente do corte de rochas ornamentais observando o teor de sólidos passantes e equacionando a vazão escoada através do modelo elaborado.

1.2. Objetivos específicos

Para avaliar o comportamento dos geotêxteis não tecido no dessecamento do rejeito proveniente do corte de rochas ornamentais foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Expressar o fluxo do rejeito filtrado no modelo desenvolvido ao longo do tempo e equacionar seu comportamento;
- Averiguar a eficiência do dessecamento dos geotêxteis estudados por meio da redução na quantidade de sólidos passantes pelo sistema drenante desenvolvido em determinados instantes do escoamento;
- Entender por meio dos resultados obtidos quais dos geotêxteis não tecidos utilizados obteve a melhor resposta na redução da quantidade de sólidos passantes;
- Analisar o ganho na massa por unidade de área no geotêxtil a fim de verificar o grau de colmatação física e a influência do escoamento nessa propriedade;
- Verificar a influência dos geotêxteis na vazão escoada e na redução da quantidade de sólidos totais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Rochas Ornamentais

Rochas ornamentais são extraídas de pedreiras sobre forma de blocos ou placas, as quais são esquadrejadas, polidas ou lustradas (Montani,2003). As principais utilizações das rochas ornamentais na construção civil são a de revestimento, no auxílio na ambientação e arquitetura da obra dentre os diversos tipos de rochas ornamentais as mais utilizadas em obra civis são os mármore, granitos, gnaisses, calcários, quartzitos e ardósia (Moya,1995). Sua disposição para a lavra se dá desde matacões dispersos pelo terreno a maciços rochosos, dependendo do processo de formação das mesmas.

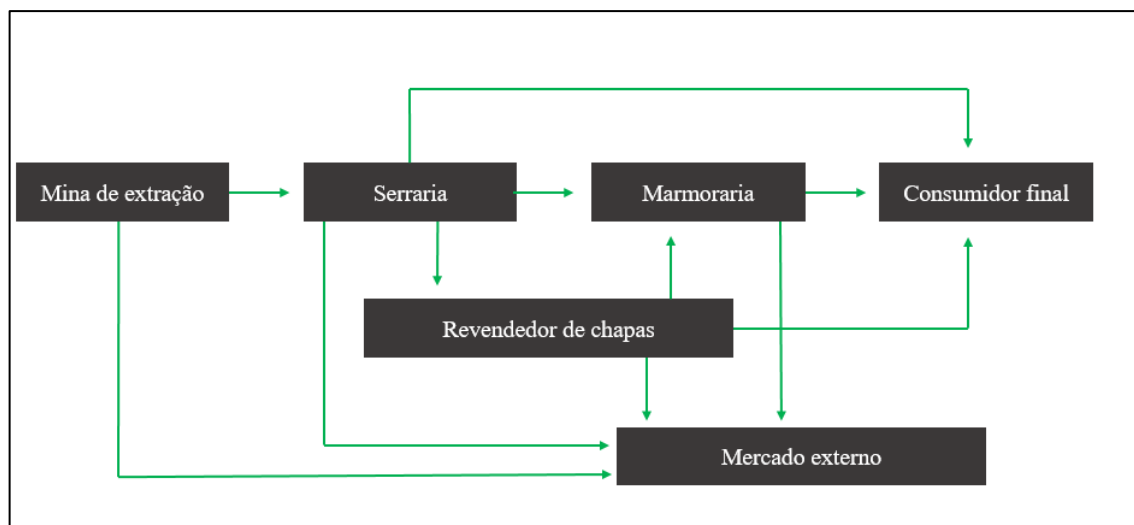
2.2. Cadeia produtiva das rochas ornamentais

Com respeito ao mercado interno a cadeia produtiva de rochas ornamentais consiste na extração da matéria prima das pedreiras, seu refinamento em produtos semiacabados nas serrarias e o recorte do produto final nas marmorarias. No entanto, esta ordem pode sofrer alteração pois em modernas serrarias as rochas podem sair com o devido acabamento e apta ao consumidor final.

Nas pedreiras, ocorre a extração dos blocos de rochas que e em seguida são transportadas para as serrarias sendo recortadas em partes menores e, por fim, são conduzidas as marmorarias que trabalham exclusivamente no beneficiamento final e a sua produção envolve a elaboração de peças a partir de materiais previamente cortados e polidos, para assim receberem o devido acabamento e ser entregue ao consumidor conforme solicitado (Mello, 2004). As marmorarias também podem ser abastecidas por outras marmorarias revendedoras de chapas e em serrarias modernas as rochas ornamentais podem receber o acabamento final e o corte conforme solicitado pelo consumidor, logo o produto destinado ao consumidor final pode ser fornecido tanto pelas serrarias como pelas marmorarias (Mello, 2004). Porém, em suma, a produção de rochas ornamentais é dividida em três etapas, a extração da rocha, serragem de blocos e o beneficiamento final nas marmorarias (Bon, 2006). Cujas as etapas desta cadeia estão esquematizadas na Figura 2.1.

Nos tópicos subsequentes serão abordados de forma detalhada os procedimentos realizados nas rochas ornamentais desde a extração da lavra até o consumidor final.

Figura 2.1 – Cadeia produtiva das rochas ornamentais.



2.2.1. Métodos de lavra

As técnicas de lavra dependem do tipo de rocha explorada, ocorrência (matacão ou maciço rochoso) e das características geológicas da rocha. Os blocos extraídos das rochas são geralmente de 9 m³ e apresentam formas regulares tendo em vista que blocos irregulares tem uma menor aceitação no mercado devido à dificuldade durante a sua regularização nas serrarias (Moya, 1995). Para a extração das rochas são utilizados diversos mecanismos, desde explosivos, fio diamantados, jatos de água sobre pressão dentre outros.

2.2.2. Serragem e polimento das chapas

O procedimento inicial dos blocos de rocha nas serrarias consiste no seu desdobrado em várias chapas com espessuras variando de 2 a 3 cm. Por este fato é de fundamental importância que o bloco vindo da mineração esteja o mais regular possível, afim de diminuir as perdas nessa etapa (Oliveira, 2015 e Moya, 1995).

O desdobramento do bloco de rocha em chapas com menores dimensões é realizado por diferentes equipamentos, dentre eles, tem-se os teares de lâminas que consistem em lâminas de aço que cortam o bloco com o auxílio de água, cal e granalha de aço e está ilustrado na Figura 2.2. Outro equipamento utilizado são os fios diamantados que são espaçados entre si e cortam o bloco com o auxílio da água, dentre estes dois equipamentos, os teares são mais

difundidos devido ao seu relativo custo benefício em comparação aos fios diamantado (Souza *et al.* 2012).

Em seguida, as chapas cortas passam por duas etapas fundamentais, uma delas consiste na retirada de possíveis imperfeições que venha a surgir advindas dos procedimentos anteriores, esta etapa é conhecida como levigamento, outro procedimento importante consiste na aplicação de resinas para o preenchimento dos vazios existentes nas chapas. Após estas etapas, as chapas são lustradas e é realizado o seu polimento, com a finalidade de tirar o excesso de resina e proporcionar brilho as chapas. Para o polimento são utilizados cabeçotes rotativos dotados de elementos com elevada dureza e com o auxílio de água corrente que tem o intuito de lubrificar as chapas e diminuir seu atrito com os cabeçotes (Oliveira, 2015).

Figura 2.2 – Tear de lâminas.



Fonte: (Ouro e Prata Granitos, 2010).

2.2.3. Corte e acabamento final

O beneficiamento é constituído pelas etapas de desdobramento, corte, polimento e acabamento final. O acabamento final pode ser realizado tanto pelas serrarias como pelas marmorarias dependendo do porte da empresa, durante o acabamento final é realizado todas as operações finais nas chapas e a montagem da peça desejada a fim de entregar o produto nas condições solicitadas pelo consumidor final (Silva, 2011).

Nas marmorarias ou em serrarias modernas as chapas recebem uma camada impermeabilizante, com a finalidade de aumentar a sua vida útil e após a secagem desta camada

as placas são cortadas em peças de pequenas dimensões para a produção da peça ornamental, conforme solicitada pelo contratante ou então as chapas são vendidas a outras marmorarias de menor porte.

Para a realização do corte as chapas são dispostas em uma mesa e com o auxílio de um disco diamantado é realizado um corte conforme o desejo do operador, durante o procedimento de corte o disco diamantado é resfriado e lubrificado com água (Mauro, 2011). As peças cortadas são unidas entre si formando a estrutura desejada e, por fim, destinada ao consumidor final.

A lama resultante do procedimento de corte é constituída principalmente por pó de pedra e água com alto grau de reutilização. Entretanto, devido a não existir adequada fiscalização e locais licenciados para a deposição deste resíduo nas proximidades das empresas, isto acarreta na deposição inadequada e sem controle destes resíduos no seu próprio terreno, lançamento em sistema de esgoto ou até mesmo pagar empresas não licenciadas para fazer o transporte (Souza *et al*, 2008).

2.3. Resíduo proveniente do corte do mármore

Ao longo de toda a cadeia de produção da peça ornamental existe grande produção de resíduos de modo que as perdas variam de 30 a 40 % da massa inicial do bloco extraído conforme relata Moraes (2006).

O resíduo gerado possui diversas formas e granulometrias distintas, sendo desde pequenos blocos de rocha durante a fase de lavra até a forma de lama durante a formação das chapas e durante o seu polimento nas serrarias e marmorarias. A lama resultante é conhecida como lama abrasiva desde as serrarias, devido aos elementos que são inseridos para auxiliar no corte dos blocos (cal e gralha de aço), como nas marmorarias mais simples, cuja o resíduo gerado é uma lama constituída de diversos minerais em forma de pó, pequenas partículas sólidas e da água, apesar de não possuir a cal e gralha e aço os minerais presentes já são suficientes para garantir a característica abrasiva da lama (Oliveira, 2015).

O procedimento de lavra é responsável por produzir cerca de 20 milhões de toneladas ao ano, sendo, por tanto, a etapa que mais produz resíduos quando comparadas as outras etapas que somadas chegam a um valor de 2,3 milhões de toneladas ao ano, conforme mostrado por Campos *et al*. (2014). Apesar do volume de resíduo gerado durante a etapa de serragem e acabamento ser inferior aos resíduos produzidos durante o procedimento de lavra ele ainda é

suficiente para acarretar danos ao meio ambiente, como assoreamentos dos rios além do pó seco, produto resultante da secagem da lama, causar danos à saúde humana devido ao fato que na maioria das empresas ficam estocados em depósitos a céu aberto (Moraes, 2006 e Souza *et al.* 2012).

Uma outra problemática durante a geração de resíduos é o grande volume de água utilizado, como mostrado pelo estudo de Moraes (2006), no qual na etapa de polimento uma poliatriz com 20 cabeçotes operando 24 horas por dia chega a liberar cerca de 576 m³ de água por dia.

2.4. Geossintéticos

Os geossintéticos são materiais fabricados industrialmente, cuja possuem em sua constituição polímeros sintéticos derivado do petróleo e aditivos que tem a função de adicionar melhorias nas propriedades do seu polímero base (Lotti e Bueno, 2015). Os geossintéticos também podem ser fabricados por meio do uso de fibras naturais, conhecidos como biotêxteis e biomantas.

As principais funções dos geossintéticos em obras de engenharia são: controle de erosão superficial, barreira, proteção, reforço, separação, drenagem e filtração (Aguilar e Vertematti, 2015). Existe diversos tipos de geossintéticos que variam conforme o polímero base e seu arranjo estrutural, sendo os mais comuns os geotêxteis (GTX), geogrelhas (GGR), Georedes (GNT), Barreira Geossintética (GBR), Geocompostos (GCO), Tubo Dreno Geossintético (GDP), Geocélula (GCE) e os Geoexpandido (GFM) (IGS, 2019). Dentre os geossintéticos apresentado o geotêxtil é o material polimérico que atende uma grande gama de funções, podendo ser utilizado principalmente para separação, reforço, drenagem, proteção e filtração conforme Giroud (1981).

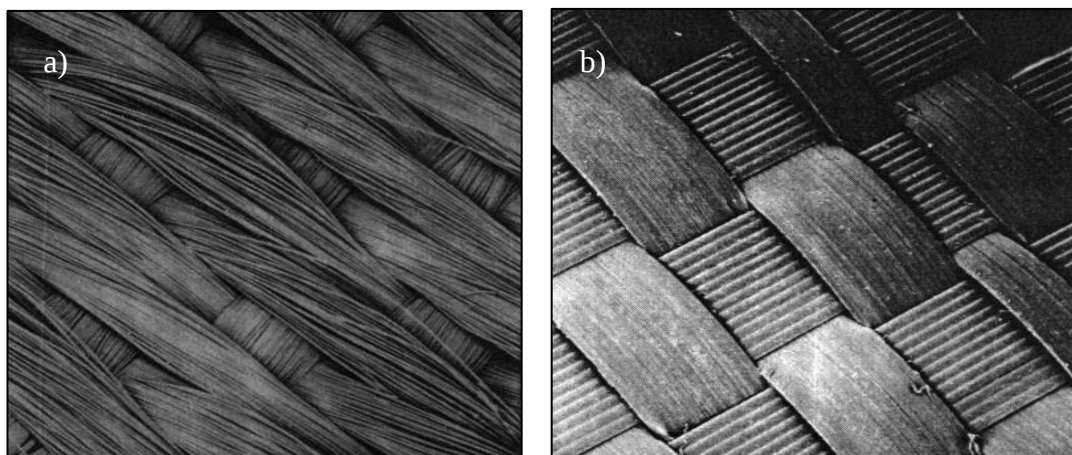
A disposição das fibras e o polímero utilizado na fabricação do geotêxtil são responsáveis por governar suas propriedades mecânicas, hidráulicas e sua durabilidade. Dentre os polímeros existentes os de polietileno, poliamida, poliéster e o de polipropileno são os mais presentes nos geotêxteis (Gardoni, 1995).

Os geotêxteis são fabricados e caracterizados como geotêxtil tecido (GTX-W), geotêxtil não tecido (GTX-N) e geotêxtil tricotado (GTX-K). Os GTX-W são obtidos em tear mecânico pelo processo convencional de tecelagem da indústria têxtil, os fios são ordenados ortogonais entre si e coplanares ao plano da manta, segundo a ABINT (2015). O entrelaçamento

das fibras pode ser de quatro tipos: monofilamentos caracterizados pela abertura de poros regulares na malha polimérica, laminetes (Figuras 2.3 (b) os quais são constituído por um conjunto de fios extrusados formando fitas entrelaçadas entre si de forma que os vazios não são vistos na direção perpendicular ao plano da manta (Gardoni, 1995). Os outros tipos são os multifilamentos representado pelo conjunto de filamentos que são entrelaçados entre si (Figura 2.3 (a)) e as fibrilas são compostas por fibras formadas como as dos laminetes, cortadas em pequenos elementos que são ligados entre si (Bhatia e Smith, 1996).

Os GTX-N são obtidos pelo processo de tecelagem no qual as fibras são dispostas de forma aleatórias em uma esteira transportadora, em seguida, são ligadas entre si por agulhagem, processos térmicos ou químicos (Aguiar e Vertematti, 2015). A agulhagem consiste na passagem vertical e repetitiva de agulhas que possuem as pontas retorcidas e ao passar através das fibras as entrelaçam. O procedimento térmico e químico une as fibras por fusão ou por meio da utilização de substâncias químicas que promovem essa união (Gardoni, 1995).

Figura 2.3 - Geotêxtil tecido ampliado 8 vezes, a) geotêxtil multifilamentos b) geotêxtil laminetes.



Fonte: (Bhatia e Smith, 1996).

As fibras utilizadas para a confecção dos GTX-N podem ser de filamentos contínuos ou cortadas, no qual as de filamento continuo possuem grande extensão enquanto as fibras cortadas são de 25 a 100 mm de comprimento, havendo pouca diferença quanto a sua funcionalidade (Bhatia e Smith, 1996). A Figura 2.4 mostra um exemplo de geotêxtil não tecido agulhado.

2.5. Uso de geotêxteis para o dessecamento de rejeito

Uma das primeiras utilizações do geotêxtil em obras hidráulicas foi na década de 70, sendo utilizado como filtro de transição em obras de erosão fluvial, ensecadeiras e na contenção de aterros hidráulicos (Vertematti e Castro, 2015).

Figura 2.4 – GTX-N agulhado (DUFLOT, 2019)



Fonte: (DUFLOT, 2019).

Em 1980 houve a intensificação do uso dos geotexteis sobre forma tubular preenchidos com areia ou com concreto com a finalidade de proteção costeira e devido aos bons resultados apresentados este produto foi patenteado no ano de 1982 nomeado de formas têxteis tubulares (FTT) (Vertematti e Castro, 2015).

A partir desta data diversas pesquisas foram desenvolvidas buscando aplicar os diversos tipos de geotêxteis para o dessecamento de matérias de diferentes características. Faure et al. (2006) estudaram o efeito da colmatação em GTX-N, buscando estimar através de formulações matemáticas a quantidade de sólidos necessários para a colmatação do geotêxtil utilizado em função da quantidade de sólidos dispostos na solução e da perda de carga proveniente do acúmulo de sólidos no têxtil, para sua pesquisa foram utilizados sete tipos de geotêxteis não tecidos no qual a formulação estudada conseguiu prever a colmatação em todos os tipos de geotêxteis estudados, validando o modelo para o uso no conhecimento da colmatação dos geotêxteis.

Newman et al. (2003) estudaram o dessecamento do rejeito de granulometria fina por meio da implementação dos geotêxteis de forma tubular, almejando a implementação desta

tecnologia em escala real. O rejeito de estudo foi o de mineração e a pesquisa foi realizada na cidade de Chalkidiki na Grécia, no qual foram realizados, inicialmente, testes em laboratório em pequena escala para analisar a quantidade da redução no teor de sólidos passantes por meio do *hang bag test* e assim estudar um geotêxtil a qual seria aplicado em escala real, por meio desse estudo foram obtidos resultados conforme previsto em laboratório além de terem obtido uma redução nos custos de implementação quando comparado com a tecnologia para o despejo do rejeito anteriormente utilizado.

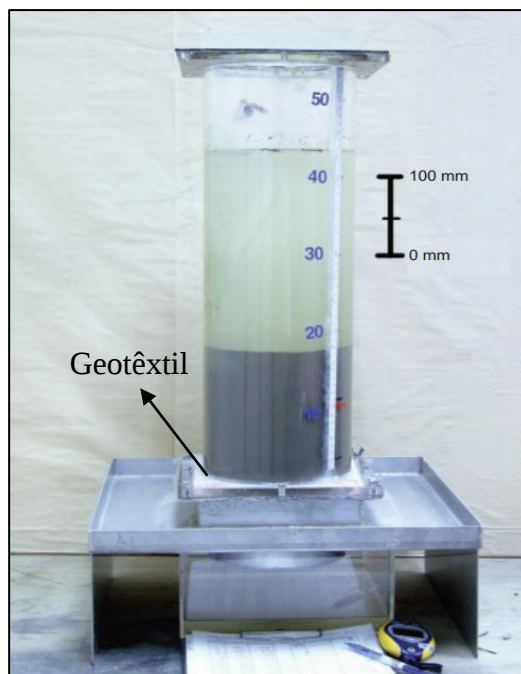
Huang e Luo (2007) pesquisaram o uso dos geotêxteis tecidos e não tecidos para o dessecamento de uma lama preparada em laboratório com um teor de humidade de 500% , para isso os autores elaboraram um protótipo (Figura 2.5) que permitia apenas a filtração na direção vertical avaliando a vazão escoada com o tempo para diversas cargas hidráulicas e assim estipular a massa de rejeito retido no interior do protótipo, tendo como base a diferença de carga hidráulica aplicada para os quatro tipos de geotêxteis testados. Outras pesquisas utilizando protótipos foram elaboradas para o estudo do geotêxtil como elemento filtrante, assim como mostra a pesquisa de Mendonça *et al.* (2008) no qual desenvolveram um protótipo para avaliar o uso do geotêxtil como filtro para o dessecamento dos resíduos oleosos provenientes do refinamento do petróleo, os seus resultados mostraram que houve uma redução na umidade da borra em 49% e de 46% do volume inicial, mostrando a eficiência do dessecamento com o uso do geotêxtil para líquidos com diferentes densidades.

A busca por um melhor conhecimento dos geotêxteis utilizados para a filtração de lamas continuou com os autores Weggel e Dortch (2012) que buscaram a validação de uma equação desenvolvida por weggel e Ward (2011) com a finalidade de conhecer a espessura do *filter cake*. Para pesquisa foi desenvolvido um protótipo cilíndrico de pequenas dimensões e foram utilizados vários tipos de misturas com quatro tipos de geotêxteis diferentes, mostrando a preocupação cada vez maior dos autores em poder contabilizar e entender os parâmetros existentes em um sistema filtrante com o geotêxtil.

Maurer et al. (2012) realizaram um estudo no qual buscaram dessecar uma lama composta por cinzas volantes e foram feitos diversos experimentos com floculantes adicionados na mistura, almejando compreender e validar os FTT's para esta aplicação tendo em vista que o geotêxtil não seria, até então, uma alternativa para o tratamento deste tipo de rejeito. Os geotêxteis utilizados obtiveram ótimos resultados na redução dos sólidos totais e foi definindo um floculante recomendado para esse tipo de resíduo. Nesse estudo, foi possível constatar, mais

uma vez a versatilidade do uso dos geotêxteis em diferentes misturas, obtendo resultados positivos em todos os estudos encontrados.

Figura 2.5 – Protótipo desenvolvido por Huang e Luo (2007).



Gastaud et al. (2014) buscaram acelerar o dessecamento de lamas com alta concentração de finos ao aplicar uma pressão constante na lama que estava inserida em um tubo cilíndrico o forçando o líquido a passar pelo geotêxtil contido em sua extremidade. Com os resultados obtidos, Gastaud et al (2014). Constataram que independente do geotêxtil utilizado a vazão escoada tenderia a um valor constante após um determinado tempo do ensaio e a permeabilidade do meio filtrado era governada pela substância sólida retida no geotêxtil durante o fluxo de vazão constante, sendo o *filter cake* o maior responsável pela filtração da lama.

Khachan e Bhatia (2017) buscaram melhorar a eficiência e rapidez do dessecamento de lamas com diferentes proporções de solo e água, sendo utilizado uma centrífuga que visa a acelerar a decantação do solo e promover a rápida formação do *filter cake* e assim permitir que o teor de sólidos totais passantes seja menor logo no instante inicial do dessecamento. Os resultados encontrados pelos autores foram que a centrífuga conseguiu diminuir o teor de sólidos passantes pelo geotêxtil, obtendo melhores resultados para solos argilosos, este fato foi devido a boa interação existente entre o floculante utilizado na pesquisa e o solo.

2.6. Propriedades relevantes dos geotêxteis para o dessecamento

Conforme Fowler et al. (2005), o geotêxtil utilizado no desaguamento, dessecamento e acondicionamento de materiais deve suportar as tensões mecânicas geradas durante o enchimento e permitir a passagem do líquido além de reter as partículas sólidas. Logo, o geotêxtil deve garantir que as cargas e esforços sofridos ao longo do tempo sejam suportadas durante toda sua vida útil. Silva (2017) destacou que as propriedades mais relevantes para o desaguamento de rejeito em tubos geotêxteis são as físicas, mecânicas e hidráulicas.

2.6.1. *Propriedades físicas*

As propriedades físicas são propriedades índices e tem influência direta no comportamento hidráulico e mecânico dos geotêxteis (Silva, 2017). Os geotêxteis utilizados para o desaguamento possuem propriedades físicas relevantes que são subdivididas em gramatura, porosidade, espessura, distribuição dos poros, forma e diâmetro dos fios (Gardoni, 2000).

Gramatura (Ma) consiste na relação entre o peso da malha sintética e a área desta malha. Sua determinação é regida pela ISO 9864 (2013), seu valor pode ser utilizado para estimar a abertura de filtração do geotêxtil, influenciando na drenagem e filtração do rejeito (Gourc e Faure, 1990). Além da sua influência na abertura de filtração, Palmeira et al (2010) constataram a influência da gramatura na transmissividade do geotêxtil não tecido quando submetido a uma carga.

A espessura nominal (t_{GT}) é a distância entre a superfície superior e inferior do material a depender da tensão aplicada (Silva, 2017). O procedimento para a sua determinação segue a norma ISO 9863 (2013) e seu conhecimento é fundamental para entender as propriedades hidráulicas do geotêxtil, tendo em vista a sua influência na transmissividade e permissividade do geotêxtil, parâmetros estes que serão discutidos nos tópicos seguintes.

A porosidade do geotêxtil (n_{GT}) é obtida de maneira similar nos solos, sendo a correlação entre o volume de vazios e o volume total da amostra. Outra correlação proposta por Giroud (1996) que relaciona a porosidade com a gramatura expressa em g/m^2 , massa específica das fibras (ρ_f) e a espessura do geotêxtil (t_{GT}), como pode ser observado na equação (2.1).

$$n_{GT} = 1 - \frac{Ma}{t_{GT} \cdot \rho_f} \quad \text{Equação (2.1)}$$

2.6.2. Propriedades hidráulicas

Os geotêxteis devido a sua elevada capacidade filtrante são excelentes materiais para o uso no desaguamento de lamas e lodos, porém é de fundamental importância compreender as propriedades hidráulicas que são desenvolvidas ao longo da filtração. Uma filtração é dita eficiente quando ocorre um equilíbrio do sistema solo-geotêxtil, pois o material polimérico deve permitir a passagem do líquido e reter a maior quantidade de sólidos possível (Silva, 2017).

No uso em obras hidráulicas, os geotêxteis podem desempenhar tanto a função de dreno quanto a de filtro e as suas propriedades hidráulicas (permeabilidade, transmissividade e permissividade) são fundamentais para o entendimento do comportamento dessa filtração (Galvis, 2016).

A permeabilidade de um geotêxtil é determinada pelo seu coeficiente de permeabilidade (k) que no fluxo laminar obedece a lei de Darcy, representado pela Equação (2.2).

$$v = ki \quad \text{Equação (2.2)}$$

Sendo:

v é a velocidade aparente do fluxo do líquido (m/s);

k é o coeficiente de permeabilidade do geotêxtil (m/s);

i é o gradiente hidráulico.

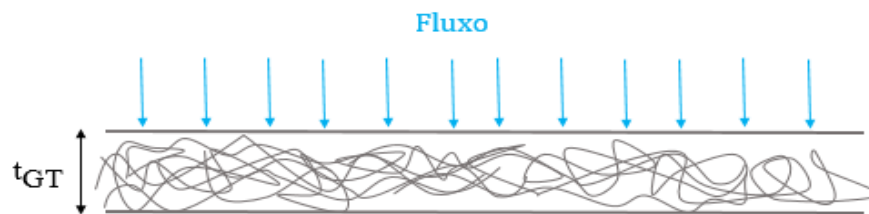
Giroud (1996) propôs um modelo teórico para a realização do cálculo do coeficiente de permeabilidade em geotêxteis não tecido, no qual seu valor é diretamente dependente da massa específica do fluido a ser filtrado (ρ_w), porosidade do geotêxtil, aceleração da gravidade (g) e da abertura de filtração do geotêxtil (O_f) e inversamente proporcional a viscosidade dinâmica do fluido (μ_w), como mostrado na Equação 2.3.

$$k = \frac{\rho_w g n_{GT} O_f^2}{32 \mu_w} \quad \text{Equação (2.3)}$$

Giroud (1982) em sua tese afirma que a diferença entre a permeabilidade, transmissividade e permissividade está no fato que a permeabilidade não leva em conta a espessura do geotêxtil. Logo, geotêxteis com a mesma porosidade e estrutura, mas com espessuras distintas iram apresentar a mesma permeabilidade porem diferentes permissividade e transmissividade.

A permissividade consiste na passagem do fluido a ser filtrado através do plano normal do geotêxtil, como ilustrado na Figura 2.6, seu valor é calculado conforme a Equação 2.4 e sua determinação é regida pela NBR ISO 11058 (2013).

Figura 2.6 – fluxo sobre o geotêxtil no qual é possível determinar a permissividade.



$$\psi = \frac{k_n}{t_{GT}} \quad \text{Equação (2.4)}$$

Cuja:

Ψ é a permissividade (s^{-1});

k_n Consiste na permeabilidade através do geotêxtil (cm/s);

t_{GT} é a espessura do geotêxtil sobre tensão normal (cm).

Como observado na Equação (2.4) a permissividade diminui conforme o aumento da espessura do geotêxtil, que pode ser explicado pois quanto maior a espessura nominal, maior será a quantidade de fibras no material polimérico que atuam como barreira para passagem do liquido filtrado. A permissividade varia conforme as características do geotêxtil como, por exemplo, a gramatura, tamanho das fibras e o tipo de polímero utilizado (Lafleur e Rollin, 1983 *apud* Galvis, 2016).

A transmissividade consiste em descrever a passagem do fluido a ser escoado ao longo do plano do geotêxtil, como mostrado na Figura 2.7, sua determinação é regida pela NBR ISO 12958 (2013), no qual seu valor é obtido conforme a Equação (2.5).

O parâmetro da transmissividade é bastante utilizado quando se torna necessário entender o comportamento do geotêxtil quando exerce a função de dreno e seu valor é

diretamente proporcional a espessura do material polimérico, como visto na Equação (2.5). Logo, quanto maior a espessura do geotêxtil, maior serão os canais na matriz polimérica para que o fluido percole ocorrendo, consequentemente, o aumento da transmissividade

Figura 2.7 – Fluxo através da manta geotêxtil para a determinação da transmissividade.



$$\theta = k_n t_{GT} \quad \text{Equação (2.5)}$$

Cuja:

θ é a transmissividade (cm^2/s);

k_n Consiste na permeabilidade através do geotêxtil (cm/s);

t_{GT} é a espessura do geotêxtil sobre tensão normal (cm).

A abertura de filtração é uma condicionante para operação dos filtros geotêxteis, no qual usualmente seu valor é adotado como sendo o maior valor do grão que passou através da malha do geotêxtil. O valor comumente utilizado é o O_{95} que está associado com o diâmetro obtido na curva granulométrica do material passante pelo geotêxtil, cuja 95% do material a ser retido passa no geotêxtil (Gardoni, 2000).

A abertura de filtração é o parâmetro de maior relevância para o entendimento do potencial de filtração, sendo o mais utilizado para o dimensionamento dos filtros geotêxteis (Messias da Silva, 2014). Para a determinação da abertura de filtração, Giroud (1996) propôs a seguinte equação semiempírica (Equação 2.6):

$$\frac{O_f}{d_f} = \left(\frac{1}{\sqrt{1-n_{GT}}} \right) - 1 + \frac{\xi n_{GT}}{(1-n_{GT}) t_{GT}/d_f} \quad \text{Equação (2.6)}$$

Sendo:

O_f é a abertura de filtração do geotêxtil (cm);

d_f é o diâmetro das fibras do geotêxtil (cm);

n_{GT} é a porosidade do geotêxtil virgem;

ξ é um parâmetro adimensional que pode ser obtido pela calibração do ensaio.

A Equação (2.6) mostra que a tensão de compressão exercida pelo peso do rejeito no geotêxtil implicaria em uma redução da abertura de filtração devido a diminuição na espessura do material polimérico, outro fator que implica na redução da abertura de filtração é a impregnação causada pelo carreamento de partículas durante o dessecamento que acabam alojando nas constrições do geotêxtil (poros vazios entre as fibras do geotêxtil) (Galvis, 2016 e Gardoni, 2000).

2.6.3. Resistência mecânica

O geotêxtil quando aplicado em sistema de dessecamento, como por exemplo, nos FTT's, estão sujeitos a diferentes ações mecânicas, dentre elas se destacam os esforços de tração, compressão, puncionamento e resistência ao rasgo (Silva, 2017).

Os tubos geotêxteis são os elementos mais utilizados para o dessecamento de lamas e lodos e durante o seu uso existem duas situações críticas que o engenheiro deve ter atenção especial, uma delas é devido ao aumento de tensões gerados durante a fase de enchimento e a outra ocorre por meio do possível surgimento e propagação do rasgo seja por danos da instalação ou devido o material polimérico não suportar o acréscimo de tensão incrementadas (Silva, 2017).

Uma atenção também deve ser dada caso exista emenda, pois a tensão promovida pelo incremento de lama seja mais forte que a tensão admissível da emenda, pode ocorrer o colapso do elemento devido a falta de suporte do elemento que promoveu a união.

2.7. Comportamento do geotêxtil e do meio a filtrar

O conhecimento do material a ser filtrado é um parâmetro de alta relevância para o dimensionamento de filtros geotêxteis, pois sistemas filtrantes devem ser concebidos para atender a dois critérios que são contraditórios entre si: o critério de retenção e de permeabilidade (Aguiar e Vertematti, 2015).

O critério de permeabilidade deve garantir a livre passagem do fluido de forma a não permitir elevadas perdas de carga, garantindo que o geotêxtil seja mais permeável que o solo a reter. A Tabela 2.1 expõe alguns critérios que correlacionam a permeabilidade do meio a filtrar

e a do solo a ser filtrado conforme pesquisas anteriores. Como os geotêxteis possuem elevada porosidade é muito provável que ocorra o fluxo turbulento durante o dessecamento para pequenos gradientes, processo pelo qual é necessário ter um cuidado especial no cálculo da permeabilidade do geotêxtil, tendo em vista que a lei de Darcy não foi elaborada para fluxo não laminar (Galvis, 2016).

O critério de retenção consiste em bloquear a passagem das partículas sólidas, que tendem a serem carregadas mediante o fluxo do fluido dentro da camada filtrante, este critério está diretamente relacionado com a erosão interna, no qual a ação da água em seu interior pode provocar a migração das partículas, causando um efeito conhecido como piping ou sufusão (Aguiar e Vertematti, 2015).

Bloquear a passagem das partículas sólidas não significa que o material de filtro deva reter todas as partículas sólidas do rejeito e permitir apenas que o fluido escoe, logo, não é necessário que a maior abertura do geotêxtil seja menor do que o menor diâmetro das partículas do solo. O solo é considerado retido quando mesmo com a sua migração através do filtro geotêxtil o solo adjacente permanece estável e que o desempenho do filtro não seja prejudicado (Galvis, 2016 apud Giroud, 1994).

Tabela 2.1 – Critérios de permeabilidade (Palmeira, 2003 apud Galvis, 2016).

Fonte	Critério	Comentários
Calhoun (1972), Schober & Treindl (1979), Wates (1980), Carrol (1983), Christopher & Holtz (1985) e outros.	$k_f > k_s^*$	Fluxo estacionário em aplicações não críticas e condições de solo não severas
Carrol (1983) e Christopher & Holtz (1985)	$k_f > 10k_s$	Condições críticas e condições severas do solo e hidráulicas
Giroud (1982)	$k_f > k_s$	Sem fator de segurança
<i>French Committee on Geotextile and Geomembranes</i> (1986)	Baseado na permissividade $\psi > 10^{3-5}k_s$	Crítica 10^5 , menos crítica 10^4 , areia limpa 10^3 .
<i>UK Department of Transportation</i> (Corbet, 1993)	$k_f > 10k_s$ $k_f > 100k_s$	Tecidos e não tecidos finos ($t_{GT} < 2\text{mm}$); Não tecidos espessos ($t_{GT} > 2\text{mm}$)
Lafleur (1999)	$k_f > 20 k_s$	

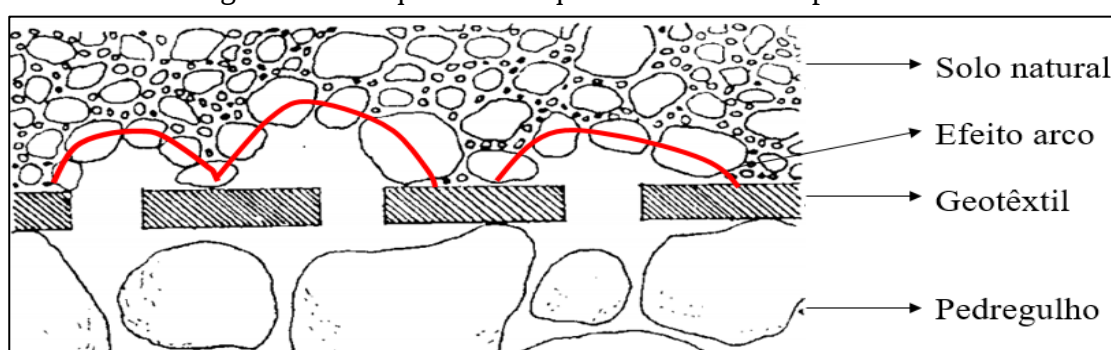
Fonte: (Palmeira, 2003 apud Galvis, 2016).

* k_f : permeabilidade do meio filtrante. k_s : permeabilidade solo a ser filtrado.

Durante o procedimento de filtração, caso haja um o fluxo governado por meio da força gravitacional e cuja a porosidade do material a reter seja menor que do que a abertura de filtração ocorre a migração das partículas menores do solo para a interface do geotêxtil, formando um arco no poro do geotêxtil, este fenômeno é conhecido como o efeito arco (Silva, 2017; Galvis (2006).

O efeito arco embora reduza a permeabilidade do sistema solo-geotêxtil, pois forma uma espécie de barreira para a passagem do fluido, seu surgimento auxilia na estabilidade interna de todo o sistema, como observado na Figura 2.8.

Figura 2.8 – Esquema do arqueamento formado pelo solo.

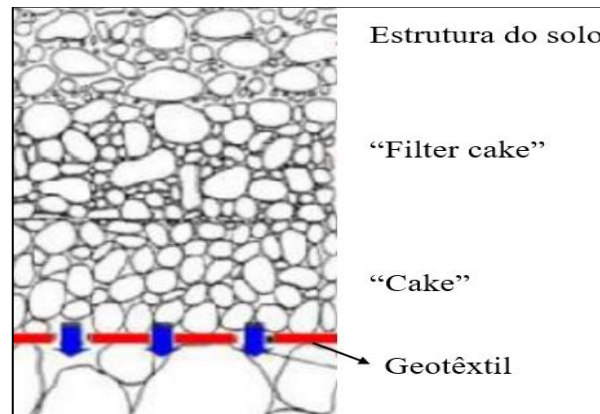


Fonte: (Adaptado de Freitas, 2003)

Algumas partículas de menores dimensões dos solos bem graduados, quando submetidos ao fluxo são deslocadas e alojam-se na interface solo-geotêxtil e quando não passam pelo filtro, formam uma camada com uma permeabilidade menor que a do geotêxtil promovendo uma redução na vazão escoada e esta camada é conhecida como *cake*. Devido a transição de partículas de menores diâmetro para a interface solo-geotêxtil acaba por formar uma camada de transição conhecida como *filter cake* situada acima da camada *cake* que possui uma permeabilidade um pouco maior que a do rejeito e menor que a do geotêxtil e está situada como mostrada na Figura 2.9 (Gardoni, 2000; Galvis, 2016; Silva, 2017).

Diversos estudos foram desenvolvidos buscando o entendimento do *filter cake*. Como, por exemplo, Weggel e Ward (2011), que buscaram formular uma equação para estimar de forma teórica a espessura camada de *filter cake* ao final do escoamento, posteriormente, Weggel e Dortch (2011) validaram esta equação realizando ensaios em dois tipos de geotêxteis e quatro tipos de rejeitos produzidos em laboratório. A Equação (2.7) mostra o resultado encontrado e validado pelos autores elencados acima.

Figura 2.9 – Esquema da formação do *filter cake*.



Fonte: (Silva, 2017).

$$Z = h_0 \sum_i \frac{\alpha_i}{\varepsilon} + Z_0 \quad \text{Equação (2.7)}$$

Em que:

Z é a espessura final do geotêxtil (cm);

h_0 é a carga inicial do sistema (cm);

α_i é a concentração volumétrica de sólidos em diferentes instantes na mistura;

ε é a fração de sólidos acumulado no *filter cake* (1- porosidade do solo);

Z_0 é a espessura inicial do *filter cake*.

Como a concentração de sólidos suspensos dentro da mistura varia com o tempo e a parcela precisa ser quantificada para a determinação da espessura final do *filter cake* os autores determinaram a concentração volumétrica de forma aproximada em determinados instantes. A determinação da espessura inicial do *filter cake* foi determinada de forma teórica tomando como base estudos anteriores e seu valor varia conforme o material a ser filtrado, porém é muito próximo de zero.

O fluido ao percolar sobre a manta geotêxtil deslocam as partículas sólidas e as depositam em três possíveis destinos, seja a jusante do geotêxtil, na interface solo-geotêxtil ou dentro da matriz polimérica. Nos dois últimos, pode ocorrer a colmatação, que consiste no bloqueamento dos vazios do geotêxtil por meio da aglomeração de partículas seja a montante do geotêxtil ou dentro dele (Galvis, 2016).

Estudos anteriores (Carroll, 1983 apud Galvis, 2016; Chistopher e Fisher, 1992) mostraram que um geotêxtil pode atender os critérios de permeabilidade e retenção e mesmo

assim ocorrer seu entupimento, tendo em vista que estes critérios são baseados no tamanho da abertura em relação ao tamanho das partículas e na permeabilidade sem levar em conta a aglomeração das mesmas, por isto existe um terceiro critério para o dimensionamento do filtro geotêxtil, conhecido como critério anti-colmatção.

O bloqueio dos vazios do geotêxtil no dessecamento de rejeito pode ocorrer de três maneiras distintas: cegamento, bloqueamento e colmatção física.

O cegamento consiste na formação do *cake*, ou seja, no acúmulo de partículas finas na interface a montante do geotêxtil, as quais não passam através dos poros do geotêxtil e reduzem significativamente a permeabilidade do sistema.

O bloqueamento consiste quando as partículas de solo se posicionam cobrindo os vazios do geotêxtil, obstruindo total ou parcialmente. Um certo grau de bloqueamento é permitido, porém a sua predominância induzirá uma grande redução na permeabilidade do geotêxtil (Gardoni, 2000). Esse fenômeno ocorre em solos com granulometria aberta e tem uma predominância em filtros de abertura individuais como os geotêxteis não tecido.

As partículas quando depositadas e acumuladas na matriz do geotêxtil e impedem significativamente o fluxo do líquido, reduzindo a permeabilidade do sistema ocorrendo a colmatção física. Existe também a colmatção química e biológica que são devido a precipitação química e o crescimento bacteriano (Gardoni, 1995).

Na busca de entender a colmatção Le Coq (1996) desenvolveu uma equação (Equação 2.8) na qual é possível determinar a massa de material necessária para a colmatção do filtro geotêxtil para a filtração de uma mistura oleosa. Seu estudo foi desenvolvido bombeando uma mistura oleosa sobre um meio filtrante de fibras minerais na qual foram registrados os parâmetros necessários para definir a massa de rejeito necessário para a colmatção da manta em estudo. Posteriormente, Faure et al. (2006) utilizaram em sua pesquisa a formulação proposta por Le Coq (1996) de modo a encontrar novos valores para parâmetros de calibração da fórmula e assim a utilizar no dessecamento de lamas, além da validação da equação para tal finalidade.

$$\delta_P = \Delta P_0 \left[(1-N)e^{m/m_1} \right] + N \left(\frac{m}{m_1} \right)^a - 1 \quad \text{Equação (2.8)}$$

Cuja:

δ_p é o excesso de pressão durante o teste (kN/m^3);

ΔP_0 é a diferença de pressão de água no lado montante e jusante do geotêxtil (kPa);

m corresponde a massa das partículas injetadas no sistema (g/m^2);

m_1 é a massa para a colmatação do filtro (g/m^2);

$N = \tan^{-1} \left(b \frac{m}{m_1} \right)$

a e b são parâmetros adimensionais de calibração.

2.8. Comportamento da vazão e sólidos totais em sistemas filtrantes com geotêxteis não tecido

Diversos estudos utilizam o conhecimento da vazão e do teor de sólidos existente para o entendimento de como se comporta o rejeito enquanto dessecado (Huang e Luo,2007; Moo-Young et al.,2002; Moo-Young et al,1999; Huang et al.,2012, Galvis,2016; Gardoni,2000; Koerner e Koerner,2006; Ribeiro,2000; Muthukumaran e Ilamparuthi,2006). Em alguns estudos esses resultados foram tomados como valores principais da pesquisa e outros esta informação entrou de forma indireta no estudo que foi desenvolvido.

Ao estudar a vazão em função do tempo de dessecamento em sistemas que utilizam geotêxteis como filtro é observado um comportamento típico no gráfico desses dois parâmetros e podem ser observados, com por exemplo, nos resultados encontrados por Muthukumaran e Ilamparuthi (2006) que estão representados na Figura 2.10.

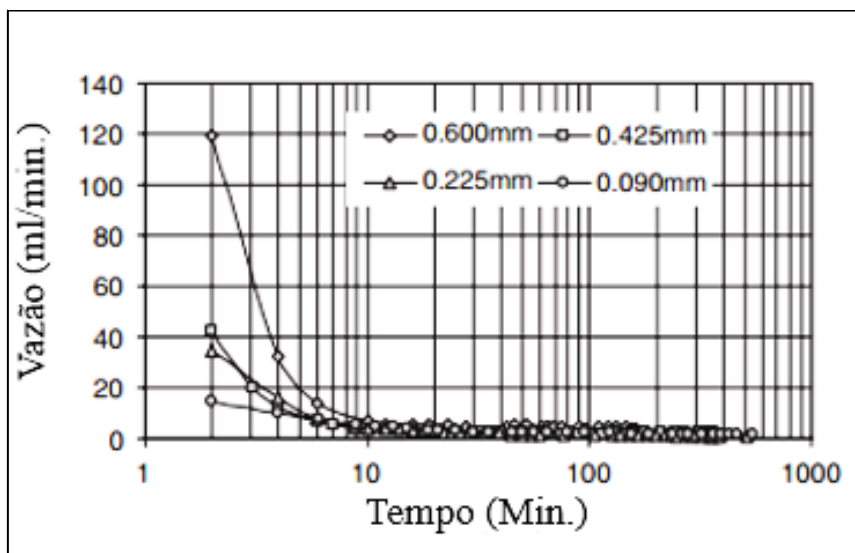
Muthukumaran e Ilamparuthi (2006) realizaram um estudo no qual foram dessecados dois tipos de lamas composta por cinzas volantes e outra com areia do porto, ambas elaboradas em laboratório com concentrações diferentes e foram utilizados quatro tipos de geotêxteis de diferentes aberturas de filtração, com o intuito de estudar a eficiência dos geotêxteis testados além da influência da abertura de filtração na vazão escoada.

A Figura 2.10 mostra o comportamento encontrado da curva da vazão em função do tempo de escoamento para quatro tipos de geotêxteis com abertura de filtração diferentes e a mistura foi elaborada com um teor de umidade de 80%. Ao analisar o gráfico os autores do artigo concluíram que o gráfico representado pela Figura 2.10 pode ser dividida em dois estágios, o primeiro estágio é caracterizado pela redução drástica da vazão e o mecanismo que governa esse estágio é a compactação, formação do *filter cake* e o cegamento. O segundo estágio é caracterizado pela vazão quase que constante sendo esta etapa governada predominantemente pelo arqueamento e colmatação física. Sendo o tempo o qual ocorre a

transição de estágios conhecido como tempo de transição e marca a completa formação do *filter cake* (Muthukumaran e Ilamparuthi, 2006).

O tempo de transição é maior quanto maior for a abertura de filtração, pois quanto maior for a abertura de filtração do geotêxtil não tecido maior é a vazão percolada e consequentemente mais rápido se forma o *filter cake*. Porém, foi observado que o tempo para a formação do *filter cake* foi aproximadamente igual independente da abertura de filtração do material polimérico. A influência da abertura de filtração consiste apenas no primeiro estágio da Figura 2.10 e no segundo estágio o *filter cake* quem seria o responsável por governar a vazão escoada.

Figura 2.10 – Curva da vazão x tempo para a areia do porto com teor de humidade de 80% do trabalho de kumaran e Ilamparuthi (2006) para diferentes aberturas de filtração.

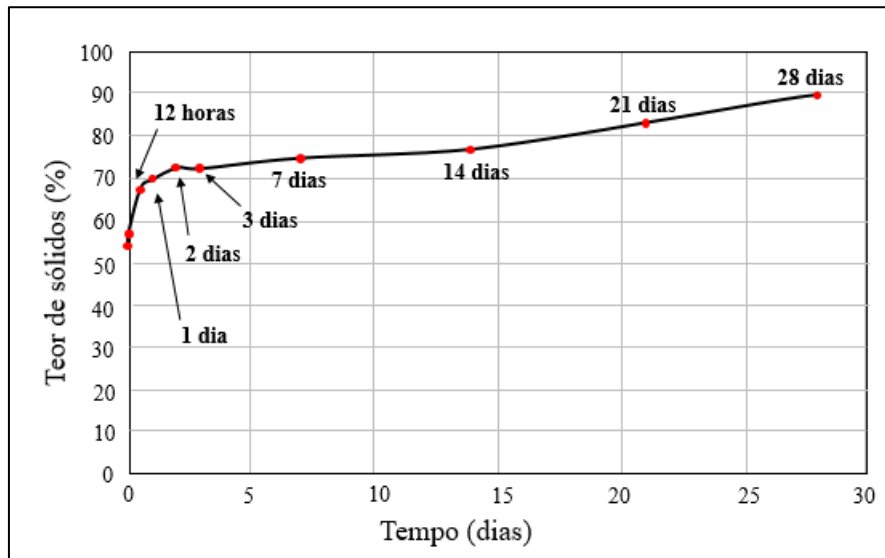


Os sólidos totais são importantes pois estão ligados a eficiência do geotêxtil em filtrar o rejeito com a menor quantidade de sólidos passante possível, como demonstrado por Moo-Young (1999). A concentração de sólidos totais tende a valores cada vez menores com o decorrer da filtração chegando a uma queda drástica logo após a formação do *filter cake* (Moo-Young, 2002). Sendo o sistema solo-geotêxtil passível de aumento do seu rendimento com o passar do tempo, no qual o próprio rejeito passa a governar a filtração dos sistemas de filtração a longo prazo, como pode ser observado pelos estudos de Silva (2017) no qual foi analisado o teor de sólidos dentro do tubo geotêxteis com os sucessivos enchimentos no tubo (Figura 2.11).

Como observado na Figura 2.11 o teor de sólidos dentro dos tubos geotêxteis tentem aumentar drasticamente após a formação do *filter cake*, no qual, nesse caso ocorreu por volta

do 1 dia, em que o crescimento é menor e porem consegue reter uma maior quantidade de sólidos com o tempo chegando próximo de 90% aos 28 dias de dessecação.

Figura 2.11 – Teor de sólidos encontrados dentro do tubo geotêxtil ensaiado por Silva (2017).



3 MATERIAIS E MÉTODOS

No início, foi realizada uma visita à empresa, localizada no município de Pendências situado na mesorregião potiguar, para entender como era o procedimento de corte e despejo do rejeito. Além de terem sido coletadas amostras provenientes de quatro tipos de rochas com diferentes características para que fossem realizadas as análises granulométricas em laboratório e assim entender como os rejeitos proveniente dos cortes das rochas ornamentais se comportavam em termos granulométricos. Com base nos resultados granulométricos obtidos foi desenvolvida uma lama abrasiva em laboratório para a realização dos ensaios propostos, objetivando analisar o comportamento dos geotêxteis utilizados frente a lama e o protótipo desenvolvidos.

3.1. Coleta e caracterização da amostra

Ao realizar a visita foi observado como ocorria o procedimento do corte das placas de mármore, como também a deposição do rejeito gerado. O procedimento de corte consiste na deposição da chapa de rocha polida sobre a mesa de corte, representada na Figura 3.1 (a) esta, por sua vez, desliza sobre trilhos até que a rocha encontre o disco diamantado que possui um sistema de resfriamento responsável por injetar água no sistema (Figura 3.1 b), com a finalidade de resfriar o disco que é aquecido devido ao atrito.

A lama, resultante do procedimento de corte, escorre através de uma esteira (Figura 3.1 c) até o encontro de uma tubulação que conduz o material resultante do corte para dois tanques do lado externo da empresa, que são responsáveis pela decantação desta lama (Figura 3.1 d). Após a decantação, o rejeito é retirado dos tanques e depositado em um terreno vizinho e a água é reutilizada no sistema.

Antes do início do procedimento de coleta das amostras a esteira foi devidamente limpa, com a finalidade de evitar interferência de cortes anteriores no procedimento de amostragem, em seguida, a tubulação responsável pela condução da lama foi substituída por uma calha limpa (Figura 3.2 a) e a captação do rejeito foi realizado em galões com 20 litros de capacidade como observado na Figura 3.2 (b).

Figura 3.1 – Detalhe do procedimento de corte.



Figura 3.2 – Adaptações realizadas a) calha utilizada; b) recipiente de coleta.

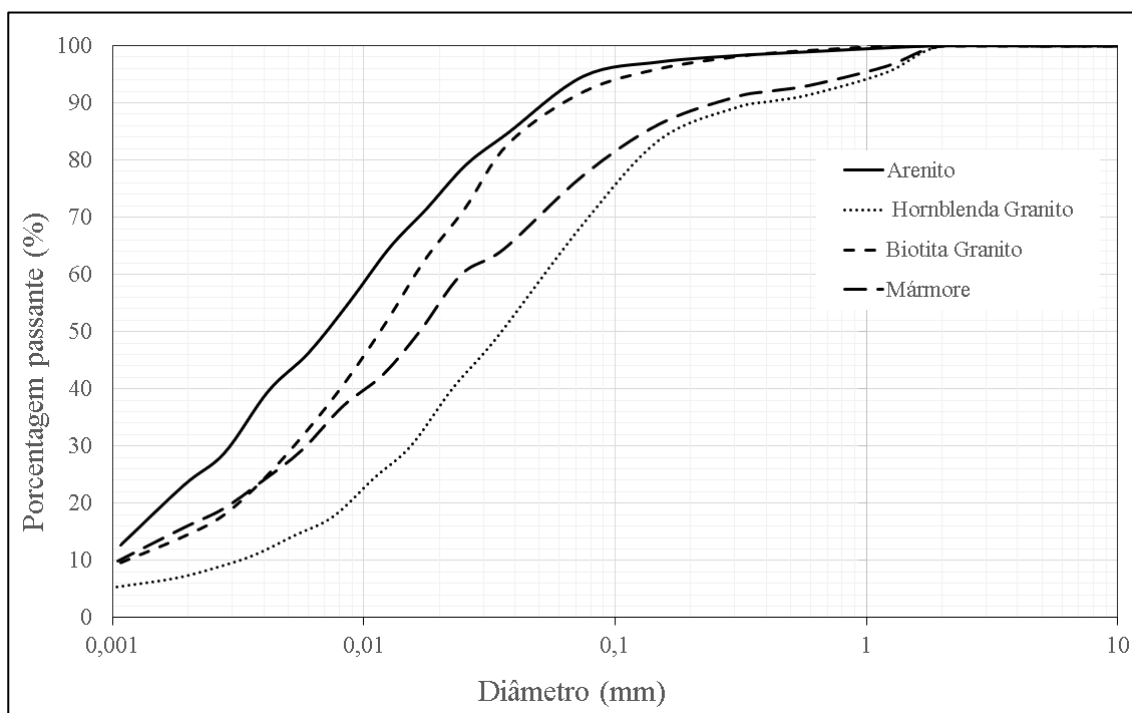


Procedeu-se o corte de quatro tipos de rochas com diferentes resistências (Arenito, Hornblenda Granito, Mármore e Biotita Granito). Ao final da coleta de cada amostra específica de rocha tanto a esteira coma a calha eram limpas com água corrente de forma a evitar a interferência entre as coletas.

Em laboratório, as amostras de lama foram secas em estufa até a massa constante para ser realizado o ensaio de granulometria com sedimentação, conforme a NBR 7181/17, os resultados obtidos são encontrados na Figura 3.3. Foram realizados, também, os ensaios de

limite de liquidez, conforme a NBR 6459/16 e o limite de plasticidade seguindo a NBR 7180/16, porém foram nulos os valores encontrados.

Figura 3.3 – Granulometria do rejeito de quatro tipos de rochas.



Ao analisar a Figura 3.3 é notório que as características das rochas, especificadamente a textura e estrutura, influenciaram na distribuição granulométrica das lamas coletadas, no qual as rochas mais alteradas e consequentemente com menor resistência obtiveram uma maior concentração de partículas de maiores dimensões como foi o caso do Hornblenda Granito. As caracterizações dos rejeitos do corte dessas rochas tiveram por finalidade conhecer o seu comportamento para assim poder definir um material a ser utilizado na pesquisa que obedece às propriedades mostradas pela caracterização dessas rochas.

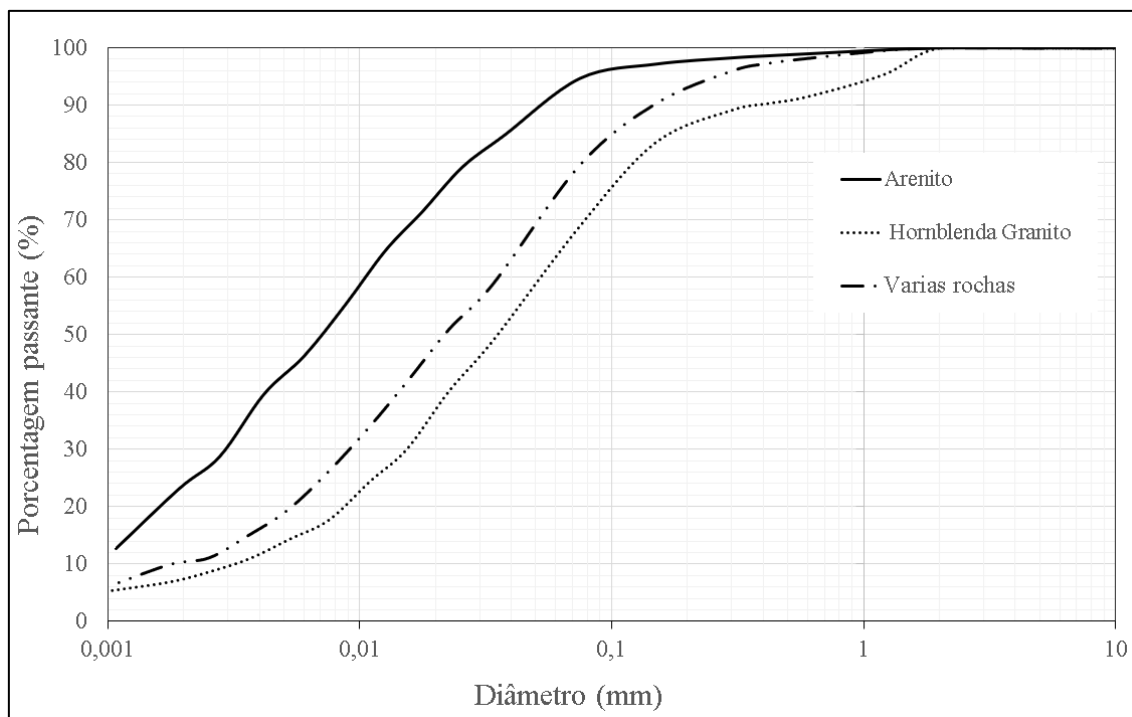
3.1.1 Material utilizado na pesquisa

Mediante o entendimento do comportamento granulométrico do rejeito produzido na empresa tornou-se necessário a elaboração da lama abrasiva em laboratório, pois necessitaria de um grande volume de rejeito para a realização dos ensaios almejados nesta pesquisa, tendo em vista que foi tomando como base as concentrações encontradas no estudo sobre lama abrasiva proposta por Modolo *et al.* (2017) que observaram uma variação de concentração da

lama abrasiva de 40,40 g/L a 68,87 g/L, tais valores corresponderam com os valores encontrados nas amostras coletadas.

Logo, para o desenvolvimento da pesquisa foi produzido uma lama com uma concentração de 50g/L e o material sólido adotado deverá ter a distribuição granulométrica e os limites de Atterberg semelhantes ao rejeito coletado. Para isso, foi realizado ensaio de caracterização do rejeito encontrado nos tanques de deposição da lama situadas na empresa, representado pelo rejeito do corte de diversos tipos de rochas. O resultado obtido do material coletado é encontrado na Figura 3.4.

Figura 3.4 – Curva granulométrica dos materiais testados.



Conforme exposto na Figura 3.4 o material composto do corte de diversas rochas ornamentais ficou dentro do intervalo granulométrico estudado das rochas com diferentes resistências. Sendo, portanto, este o material adequado para o uso na elaboração da lama em laboratório pois atendia todo o tipo de rocha a qual fosse cortada na empresa.

3.2. Geossintético utilizado

O material polimérico responsável pela filtragem da lama abrasiva foi o geotêxtil não tecido agulhado, composto por filamentos contínuos distribuídos aleatoriamente, de diferentes

aberturas de filtração e gramatura que foram determinadas conforme a NBR 12568 (2003), cuja suas propriedades estão na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Propriedades dos geotêxteis.

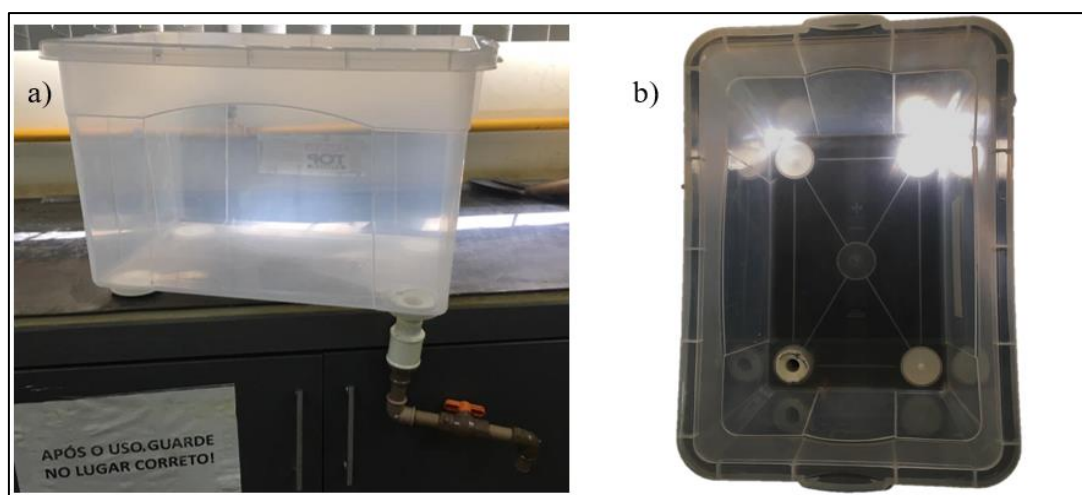
Geotêxtil	Gramatura (g/cm ²)	Permissividade (s ⁻¹)	k (cm/s)	O _f * (μm)
GTX100	100	2,40	0,35	150
GTX200	200	2,10	0,35	140
GTX300	300	1,85	0,39	110

*O_f: Abertura de filtração

3.3. Desenvolvimento do protótipo

Para o desaguamento da lama abrasiva foi necessário o desenvolvimento de um protótipo que consiste de uma caixa de polipropileno com dimensões de 33 cm por 49 cm com 34 cm de altura. A sua base foi perfurada e, em seguida, foi inserido um ralo com 40 mm de diâmetro, conectado a uma tubulação em PVC de 20 mm dotada de um registro globo, cuja a finalidade principal foi de obter um maior controle da vazão escoada. As adaptações podem ser observadas na Figura 3.5.

Figura 3.5 – Vista lateral (a) e superior (b) da caixa após a modificação.



3.3.1. Camada de brita

Após a adaptação realizada na caixa de polipropileno, foi introduzida uma camada drenante na sua base formada por 2 cm de brita 2. Esta camada tem a importância de criar um

espaço vazio para facilitar o escoamento da água e consequentemente diminuir o tempo de escoamento.

3.3.2. Configuração do geotêxtil

Os geotêxteis citados no item 3.2 foram recortados, nas dimensões da caixa de polipropileno, como mostra a Figura 3.6 (a) e em seguida as arestas foram grampeadas e costuradas (Figura 3.6 b) e depositados na parte interna do protótipo. Estas medidas foram tomadas de forma a evitar que o rejeito passasse fora do filtro polimérico, comprometendo o resultado do ensaio.

Para que as laterais do geotêxtil ficassem justas as paredes da caixa polimérica o grampeamento e a costura se realizaram com o geotêxtil inserido na caixa de polipropileno.

Figura 3.6 –Geotêxtil recém cortado (a) e após a sua montagem (b).



O protótipo com todas as camadas citadas acima está representado de forma esquemática na Figura 3.7.

3.4. Procedimento do ensaio

Após a preparação da camada filtrante citada no item 3.3.2, o protótipo foi colocado encima de uma bancada de forma que a inclinação em direção ao ralo fosse de aproximadamente

2%. Para então realizar a preparação da lama abrasiva, misturando 20 litros de água com 1kg de rejeito, garantindo a concentração mencionada no item 3.2.1. Em seguida, a lama preparada foi agitada de forma a garantir que a parte sólida estivesse totalmente dispersa na solução, para assim, ser lançada no protótipo (Figura 3.8). Por fim o registro globo foi aberto e procedeu as leituras da vazão escoada e dos sólidos totais a mesma operação foi utilizada para os três tipos de geotêxteis utilizados nessa pesquisa.

Figura 3.7 – Protótipo com a camada drenante e filtrante.

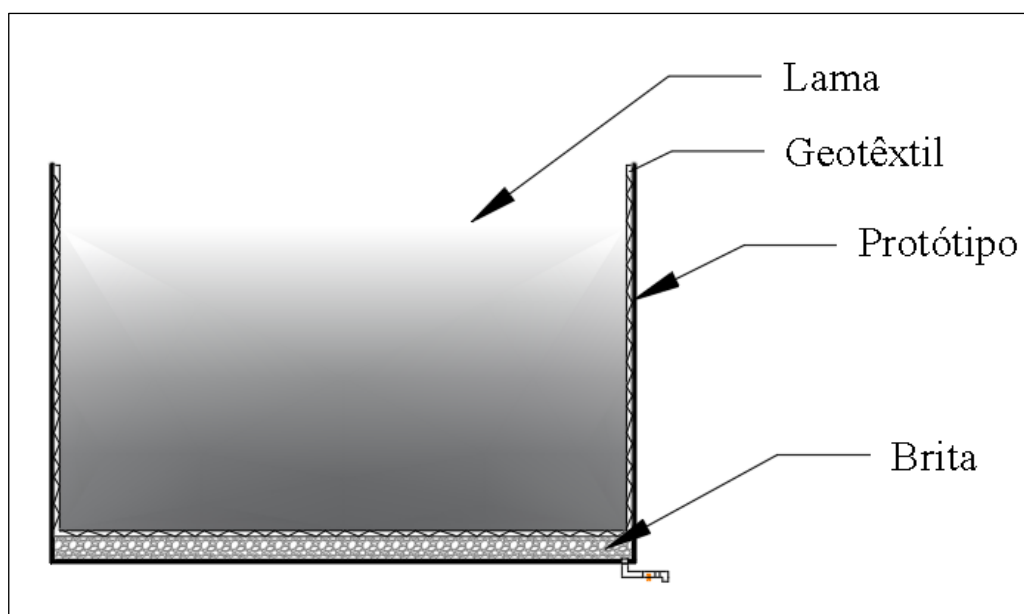


Figura 3.8 – Enchimento do protótipo.



A preparação da lama foi realizada instantes antes do seu despejo no protótipo de forma a evitar a sua decantação. Este procedimento foi repetido cinco vezes, totalizando cinco enchimentos. Um novo enchimento foi realizado quando o tempo de escoamento atingisse os 20 minutos de ensaio.

3.4.1. *Ensaio de modelo*

Antes do início do experimento, propriamente dito, foi realizado um ensaio modelo, afim de conhecer como iriam ser desenvolvidas a vazão ao longo do tempo e a partir desse ensaio modelo estabelecer intervalos de tempo de leitura adequados para a realização do experimento. Com isso, para o ensaio modelo foi utilizado o GTX 300 e buscou-se coletar os sólidos totais e a vazão escoada a cada 30 segundos até que a vazão coletada atingisse 7% da vazão inicial, para cada enchimento sendo realizados cinco enchimentos. Os resultados de sólidos totais e vazão estão encontrados na Tabela 3.2.

A Figura 3.9 e a Figura 3.10 representam, respectivamente, a vazão total e os sólidos totais obtidos no ensaio modelo, sendo possível observar que a escolha da porcentagem de vazão como critério de parada do experimento não era tão válida devido ao fato que ocorreu o acúmulo da lama dentro do protótipo de um enchimento para o outro, interferindo diretamente no volume de água de um enchimento no seu subsequente. Outro ponto desfavorável na adoção de 7% da vazão inicial como critério de parada resultou em poucos pontos para o entendimento do gráfico apresentado na Figura 3.9. Mediante este fato, foi tomado como critério de parada o tempo de dessecação de forma que o valor do escoamento seja tão baixo que a interferência de um enchimento para o outro fosse o mínimo possível e fornecendo maiores pontos de leitura com a menor interferência possível. Logo, foi tomado o tempo de dessecação de 20 minutos como critério de parada para o realizar o ensaio com os geotêxteis apresentados na Tabela 3.1.

Ao realizar o ensaio modelo, foi notório que manter o intervalo de coleta da vazão escoada e dos sólidos totais a cada trinta segundos do escoamento da lama no protótipo iria ser inviável para sua execução devido ao seu curto intervalo de tempo de coleta ao longo dos vinte minutos do escoamento, logo foi decidido coletar as vazões nos intervalos mencionado no item 3.4.2.

Nos resultados dos sólidos totais passantes pelo protótipo, demonstrado na Tabela 3.2 foi observado uma grande variabilidade dos valores obtidos para cada enchimento, podendo ter gerado erros devido ao curto intervalo de tempo adotado para a coleta dos dados de sólidos

totais no ensaio modelo, propiciando o desprezo do resultado obtido no quinto enchimento no tempo de escoamento equivalente a 2 minutos, devido a incoerência do resultado obtido com as leituras anteriores. Para minimizar os possíveis erros e facilitar a logística desta pesquisa, as leituras de sólidos totais foram feitas em tempo de escoamento conforme enunciado no item 3.4.2, deste trabalho.

Tabela 3.2 – Dados do ensaio modelo.

Enchimentos	T. de escoamento (min.)	Vazão (mL/s)	S. Totais (mg/l)	P. em relação a vazão inicial (%)
1	0	227,87	9545,82	100%
	0,5	205,87	1879,18	90%
	1	160,25	3157,63	70%
	1,5	69,75	4386,78	31%
	2	18,52	2625,06	8%
	2,5	5,98	6606,24	3%
2	0	240,07	6331,61	100%
	0,5	229,32	1156,26	96%
	1	182,39	2986,89	76%
	1,5	66,34	2311,20	28%
	2	36,01	3842,67	15%
	2,5	16,78	1236,75	7%
3	0	224,00	4619,23	100%
	0,5	205,61	1652,98	92%
	1	173,18	2749,73	77%
	1,5	71,87	2650,41	32%
	2	34,38	3212,17	15%
	2,5	16,17	1162,29	7%
4	0	209,96	1930,02	100%
	0,5	223,25	1557,99	106%
	1	194,09	2114,78	92%
	1,5	67,63	2975,94	32%
	2	36,88	1153,74	18%
	2,5	15,91	3432,94	7%
5	0	232,58	3628,68	100%
	0,5	211,81	1652,42	91%
	1	192,67	1471,89	83%
	1,5	70,19	581,49	30%
	2	32,43	-	14%
	2,5	13,30	435,60	6%

Figura 3.9 – Resultado da vazão do modelo em cada enchimento.

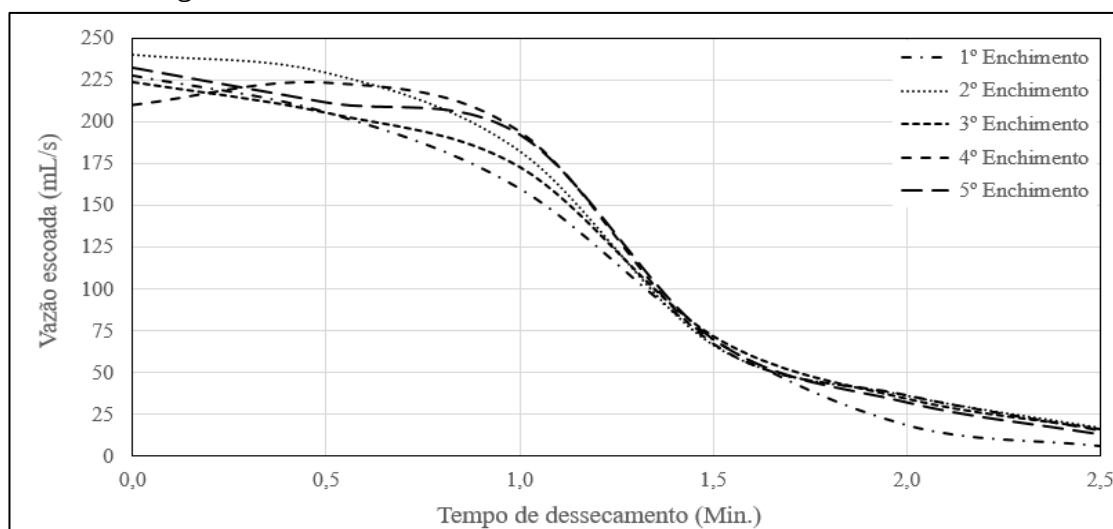
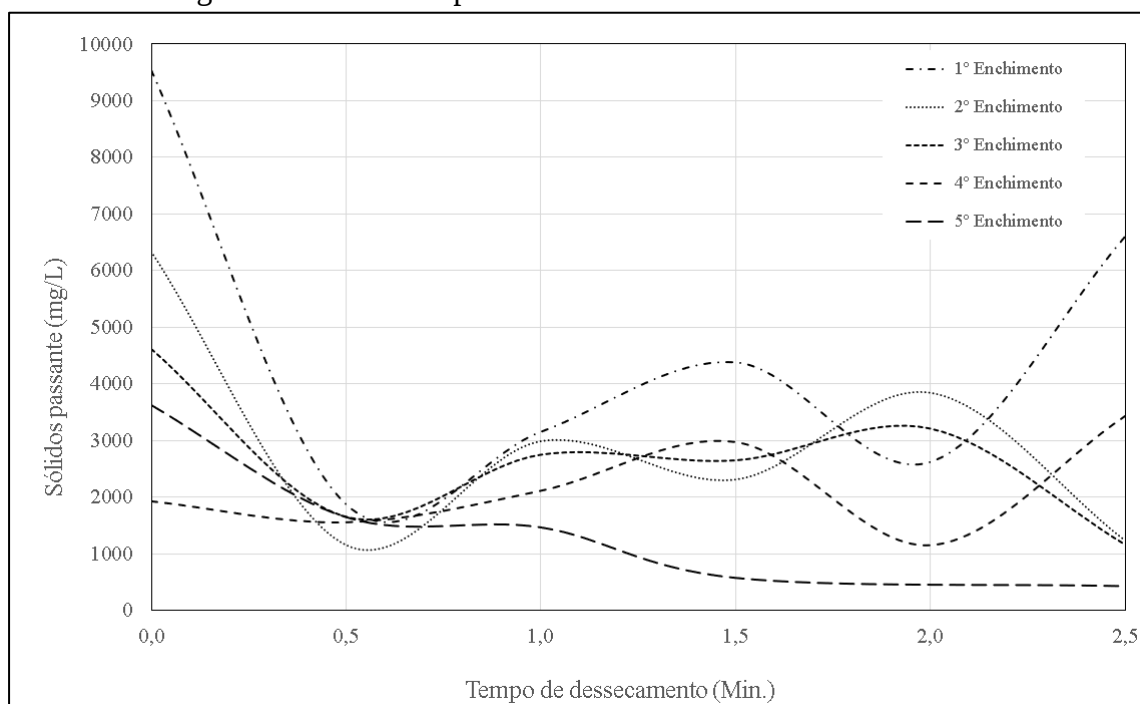


Figura 3.10 – Sólidos passante no modelo em cada enchimento.



3.4.2. Determinação da Vazão escoada e sólidos totais

Com a abertura do registro, foi coletado a vazão no início, ou seja, imediatamente após a estabilização do fluxo, e a cada 30 segundos do escoamento até o terceiro minuto, a partir deste, as coletas foram realizadas a cada minuto até o vigésimo minuto de dessecamento,

adotado como o fim do escoamento. Este intervalo de tempo foi julgado como satisfatório mediante o ensaio modelo realizado.

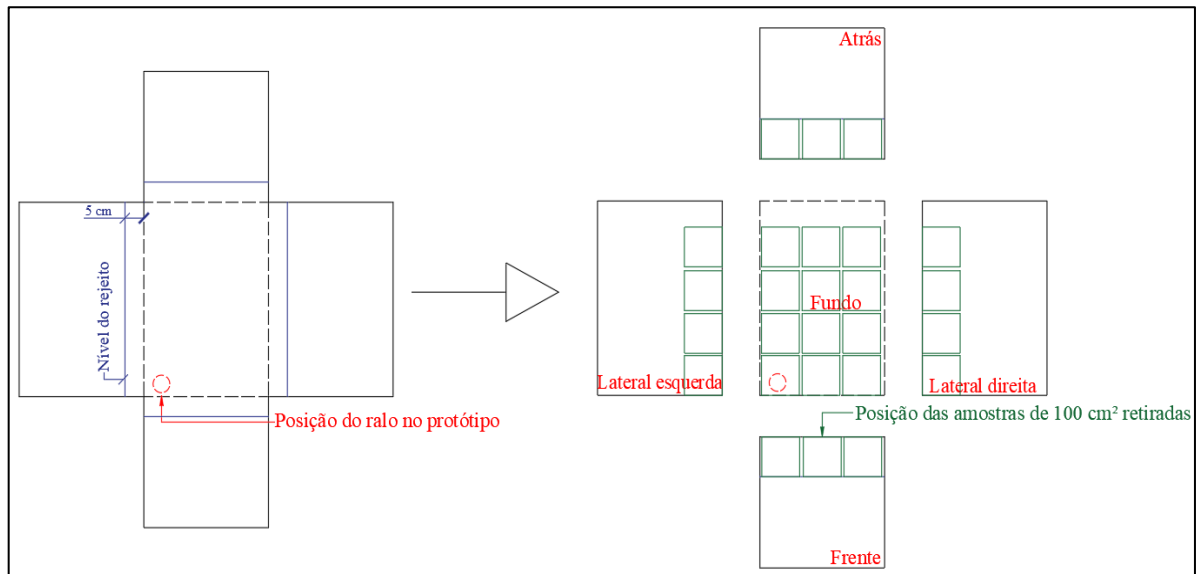
Para a determinar a vazão, o rejeito escoado foi coletado um determinado volume, em um béquer, durante um tempo de aproximadamente 1 segundo para as 8 leituras iniciais as demais leituras o tempo de coleta foi de aproximadamente 10 segundos, registrado por meio de um cronometro, este aumento no tempo de coleta do volume foi devido à baixa vazão encontrada após o terceiro minuto de escoamento. Posteriormente, o béquer foi pesado e o volume coletado foi transferido para recipientes metálicos com o auxílio de uma pisseta garantindo que todo o material fosse transferido para os recipientes metálicos. Em seguida, os recipientes foram colocados em estufa para a determinação da massa de sólidos totais existente na solução. Por fim, com o conhecimento do peso da solução e do rejeito, como também, dos seus pesos específicos foi possível determinar o volume escoado naquele instante e, conseqüentemente, conhecida a vazão.

3.4.3. Gramatura dos geotêxteis ensaiado

Ao final do escoamento foram removidos os grampos e as costuras dos geotêxteis estudados. Em seguida, o material polimérico foi cortado suas faces em amostras de 100 cm², representado pelos quadrados verdes da Figura 3.11.

Os cortes foram realizados apenas nos primeiros 10 cm de altura da caixa para que fosse coletado apenas as amostras que sofreram influência do rejeito dessecado. No total foram, 3 amostras para as faces da frente e atrás do geotêxtil, 4 foram retiradas das laterais e 12 amostras do fundo do geotêxtil (Figura 3.11). Cada amostra foi seca ao ar e pesadas separadamente até que a massa permanecesse constante em três medidas consecutivas. O estudo dos valores de gramatura encontrados em cada superfície separadamente, foi útil para entender qual superfície do geossintético utilizado apresentou uma maior retenção de partículas no seu interior e, conseqüentemente, um maior grau de colmatação. Por fim, as amostras do geotêxtil foram analisadas no microscópio digital observando a deposição dos sólidos nas suas constrições.

Figura 3.11 – Procedimento da amostragem para determinação da gramatura.



4 RESULTADOS E DISCURSÕES

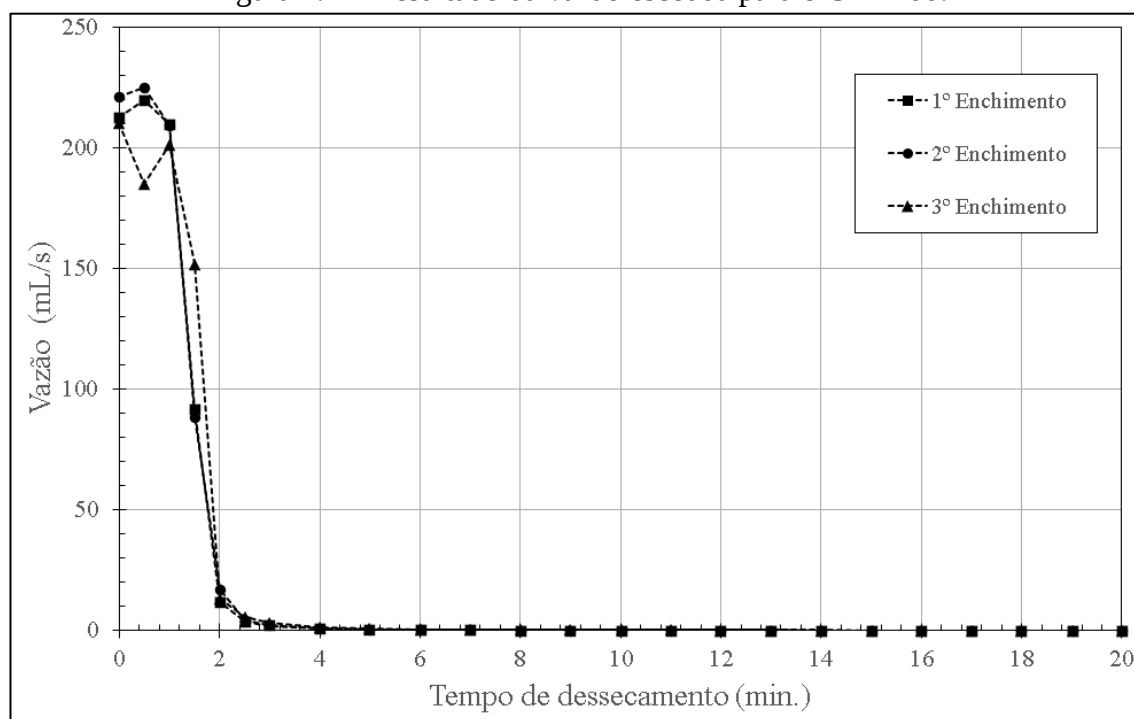
4.1. Vazão escoada no protótipo

Foi dado início ao experimento no qual foi avaliado cada geotêxtil separadamente, observando cada resultado obtido é assim estudar seu comportamento individual e comparar entre os três tipos de geotêxteis estudados.

4.1.1. Resultado obtido para o GTX100

Com o posicionamento da camisa geotêxtil o registro do protótipo foi aberto e foram feitas leituras da vazão escoada em cada enchimento, tendo como resultado da vazão escoada nos três enchimentos para o GTX100 representado na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Resultado da vazão escoada para o GTX100.



Mediante o exposto na Figura 4.1, foi possível traçar uma curva de ajuste para cada enchimento por meio do programa Mycurvefit (2019), no qual todas as curvas obtiveram um formado de uma Sigmoide simétrica 4PL, que é representada pela Equação 4.1.

$$Q = d + \frac{(a-d)}{(1+(t/c)^b)} \quad \text{Equação (4.1)}$$

Em que:

Q é a vazão escoada no protótipo (mL/s);

a, b, c, d são constantes adimensionais para cada geotêxtil utilizado;

t corresponde ao tempo do dessecamento (min.).

A curva de ajuste para todos os enchimentos obteve uma excelente correlação com os pontos registrados de forma experimental, expressado pelos valores de R^2 encontrados em todos os ajustes. Os valores do R^2 e dos fatores adimensionais da Equação (4.1) que representa a curva de ajuste para todos os enchimentos utilizando o GTX100 estão expostos na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Parâmetros da curva de ajuste para o GTX100.

	a	b	c	d	R²
1º Enchimento	216,52	9,00	1,45	0,39	0,9997
2º Enchimento	223,74	7,49	1,42	0,37	0,9999
3º Enchimento	206,18	12,88	1,62	0,74	0,9992

Mediante os resultados encontrados, temos que o parâmetro “a” tem um valor próximo da vazão inicial e o valor do parâmetro “d” com o valor de vazão ao final do escoamento no qual tende a se estabelecer. Logo, é possível prever a vazão a qual escoará no protótipo utilizado em qualquer instante do escoamento para as condições estudadas, além de permitir conhecer como se procede o escoamento para o geotêxtil utilizado.

Ao observar os resultados da Figura 4.1 é notório observar que houve pouca alteração na vazão inicial com os enchimentos chegando a valores muito próximos entre si, esta característica pode ser atribuída ao fato do rejeito retido não apresentar uma perda de carga significativa para alterar o valor da vazão escoada aliado com a grande abertura de filtração do GTX100. É possível constatar a leve tendência da retenção da água no sistema filtrante desenvolvido, pois ao decorrer dos enchimentos o volume da água que escova tendeu a crescer chegando a valores próximos a 0,74 para o terceiro enchimento.

4.1.2. Resultados obtidos para o GTX200

Com o GTX200 foi utilizado 5 enchimentos sucessivos, contabilizando, assim como o GTX100, a vazão em função do tempo em cada enchimento e foi constatado que as curvas da

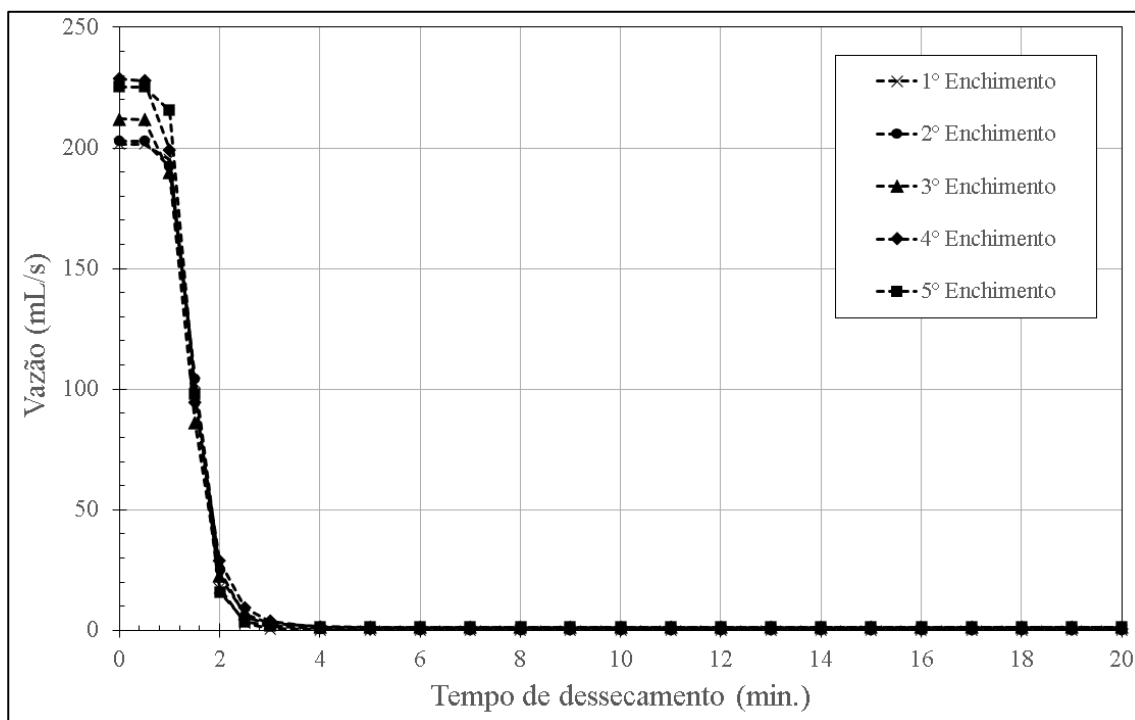
vazão em função do tempo de dessecação, do primeiro ao quinto enchimento como observado na Figura 4.2, obedeceram a uma sigmoide simétrica 4PL.

Os parâmetros da Equação 4.1 para o respectivo geotêxtil, para os cinco enchimentos estão expostos na Tabela 4.2, no qual pode ser observado a excelente com a curva de ajuste pois o valor do R^2 foi bastante próximo de um.

Tabela 4.1 – Parâmetros da curva de ajuste para o GTX200.

	a	b	c	d	R²
1º Enchimento	201,71	8,32	1,51	0,11	0,9994
2º Enchimento	202,84	7,05	1,51	0,40	0,9993
3º Enchimento	211,94	6,24	1,41	1,20	0,9975
4º Enchimento	228,59	5,59	1,41	0,58	0,9997
5º Enchimento	225,25	8,30	1,45	1,23	0,9942

Figura 4.2 – Resultado da vazão escoada para o GTX200.



Dentre as vazões encontradas pelo GTX200 é observado que a vazão inicial obteve um maior valor com o passar dos enchimentos, apesar de terem obtido valores ligeiramente próximos, tal fato pode contraditório, tendo em vista que com o passar do enchimento ocorreria uma maior perda de carga devido ao fato da deposição do rejeito sobre o geotêxtil e consequentemente haveria uma redução na vazão percolada pelo sistema filtrante.

Entretanto o que se pode constatar é que a alta abertura de filtração dos geotêxteis, aliados a pouca concentração de sólidos para a área de filtração permitiram que embora houvesse sucessivos enchimentos os sólidos tenderiam a passar grande parte ficando apenas uma pequena parcela retida, isso explicaria o fato das leituras terem dado próximas entre os GTX100 e o GTX200. Em relação ao aumento da vazão com os sucessivos enchimentos o que se pode concluir é que embora fosse pequena a vazão ao final dos vinte minutos ainda existe uma parcela da lama que fica retida. Logo, quando se fecha a válvula para realizar o próximo enchimento essa parcela de líquido retido tende a sair na primeira vazão mensurada do enchimento subsequente.

A interferência na vazão de um enchimento no seu enchimento subsequente pode ser demonstrada na Figura 4.3 para o GTX200, no qual foi determinado por meio da integração da área das curvas da Figura 4.2 o volume passante através do protótipo e foi observado que o volume total colhido superou o volume inicialmente inserido, ou seja, o volume dessecado foi pouco maior que o volume de rejeito inserido no sistema.

4.1.3. Resultados obtido para o GTX300

Dentre os geotêxteis estudados, o GTX300 é o que possui uma maior gramatura e uma menor abertura de filtração, sendo este material, em teoria, o que reteria a maior quantidade de partículas sólidas. Os gráficos de vazão ao longo do tempo de dessecamento para os cinco enchimentos realizados foram obtidos com valores menores que os GTX100 e o GTX200 como é possível observar na Figura 4.4.

O GTX300 obteve um menor valor de vazão para todos os cinco enchimentos quando comparados aos demais geotêxteis estudados isso pode ser inferido que a menor abertura de filtração do geotêxtil foi determinante para a redução da vazão escoada, no qual a vazão do primeiro enchimento chegou a reduzir significativamente.

Figura 4.3 – Volume passante pelo protótipo em cada enchimento para o GTX200.

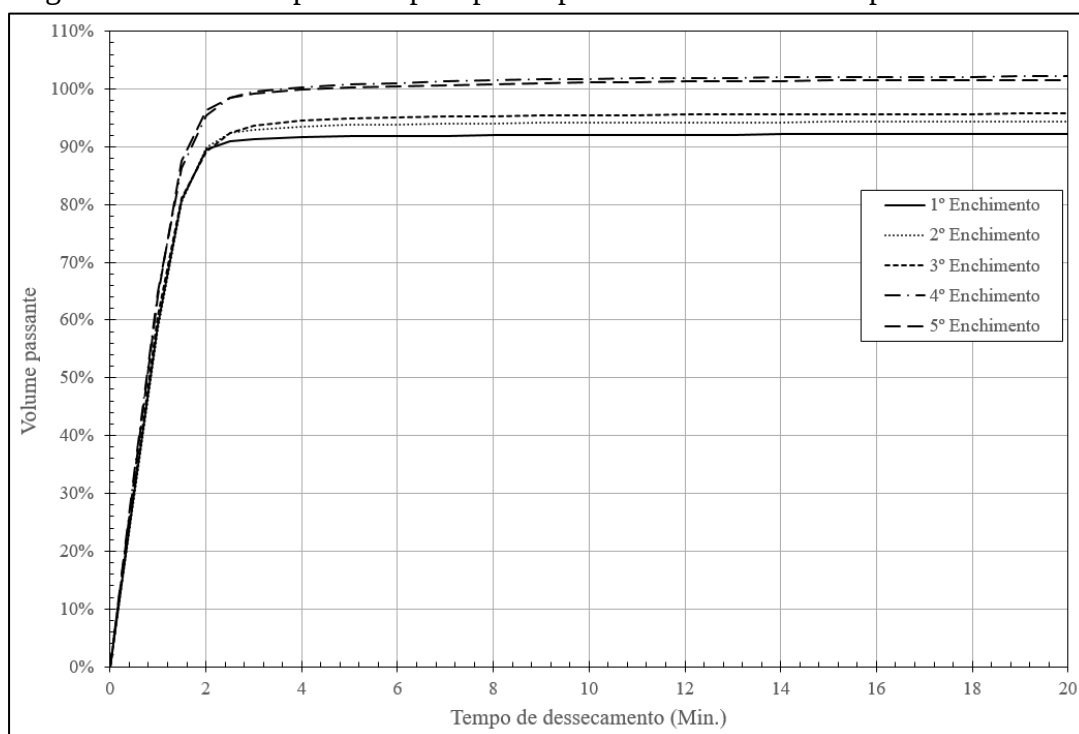
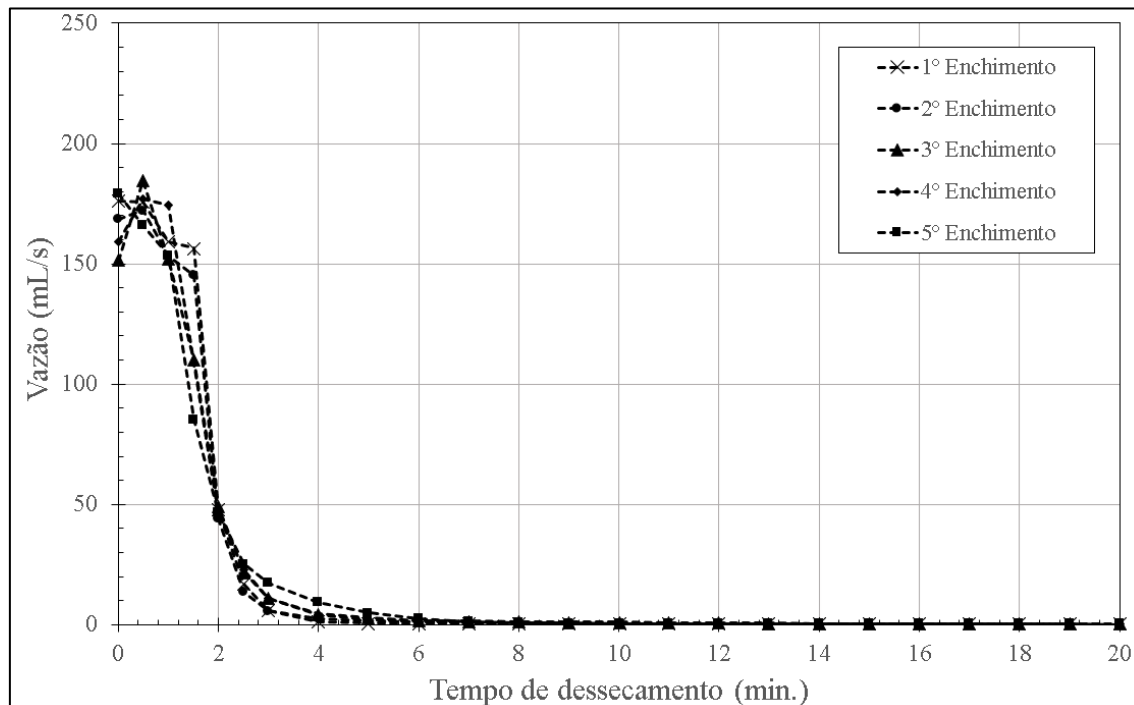


Figura 4.4 – Vazão passante no primeiro enchimento do GTX300.



Os valores das vazões tenderam a reduzir com o passar dos enchimentos mostrando uma melhor retenção dos sólidos quando comparado aos outros geotêxteis estudados, devido ao aumento da perda de carga para a percolação do fluido. Embora houvesse um acúmulo de

um enchimento para o outro a retenção dos sólidos é maior e consequentemente, ocorrerá uma diminuição na vazão escoada. Característica também observada pelo estudo de Feure et al. (2005).

Mediante o exposto, as curvas de ajuste dos gráficos da vazão em função do tempo de dessecação para o GTX300 também se assimilaram aos de uma Sigmoide simétrica 4PL, sendo possível também equacionar esse dessecação de modo a conhecer e poder prever seu comportamento e as variáveis adimensionais da Equação (4.1) para os enchimentos da GTX300 estão na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Parâmetros da curva de ajuste para o GTX300.

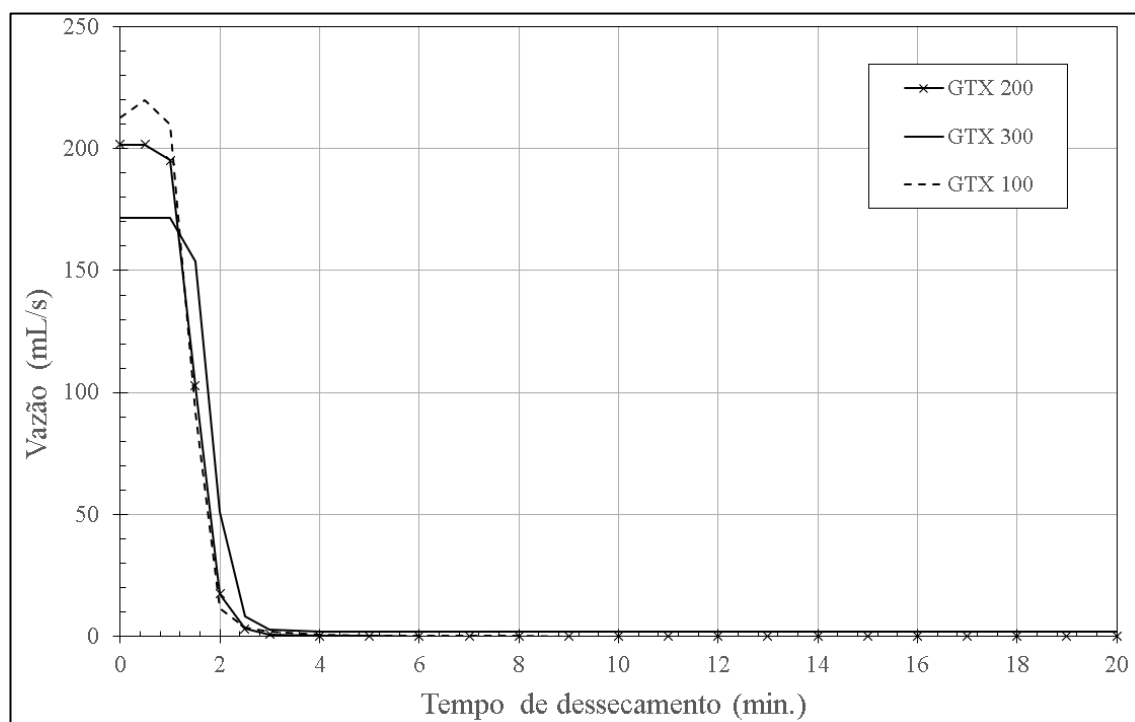
	a	b	c	d	R²
1º Enchimento	171,72	10,51	1,84	1,79	0,9960
2º Enchimento	166,63	9,72	1,81	1,27	0,9967
3º Enchimento	154,12	6,22	1,79	1,90	0,9991
4º Enchimento	180,74	5,50	1,67	1,19	0,9988
5º Enchimento	175,74	3,85	1,54	1,29	0,9978

A Figura 4.5 representa as curvas de ajustes obtidas para o primeiro enchimento de cada geotêxtil estudado, afim de analisar o comparativo do comportamento das sigmoides de cada geotêxtil. No qual podemos dividir as curvas em três trechos: o trecho inicial, caracterizado por um patamar no qual a variação de vazão é mínima sendo característica da estabilização do fluxo. A segunda etapa é observada um decaimento expressivo da vazão ao longo do tempo, ela é marcada pela compactação e a formação do *filter cake* e a ocorrência do mecanismo de cegamento no geotêxtil. A terceira etapa é marcada pela vazão quase constante no qual governa o mecanismo de arqueamento e cegamento de alguns poros do geotêxtil, conforme Muthukumarán e Ilamparuthi (2006). O ponto de transição entre o segundo e o terceiro estágio é conhecido como tempo de transição e é marcado pelo ponto cuja ocorre a completa formação do *filter cake*. A formação do *filter cake* ocorre na parte interna do geotêxtil durante todo o primeiro estágio por meio do fluxo de água e da consolidação do rejeito no geotêxtil.

Como observado por Muthukumaran e Ilamparuthi (2006) o tempo de transição pouco varia com diferentes concentrações de rejeito, entretanto a abertura de filtração interfere diretamente no surgimento do *filter cake* e consequentemente no tempo de transição. Este mesmo fato foi observado nos resultados desta pesquisa, pois para os GTX100 e GTX200 é notório houveram uma queda abrupta no segundo estágio quando comparado com o GTX300, constatando a influência da abertura de filtração no abaulamento do segundo estágio, logo para maiores aberturas de filtração mais vertical tende a ser o segundo estágio e mais rápido ocorre o ponto de transição.

Durante o terceiro estágio ambos tendem a um valor comum e próximos fato também encontrado nos estudos de Muthukumaran e Ilamparuthi (2006) independente da abertura de filtração do geotêxtil utilizado, mostrando a abertura de filtração tem influência apenas durante o primeiro e segundo estágios.

Figura 4.5 – Curvas da vazão de todos os enchimentos para os três tipos de geotêxteis estudados.



A característica das curvas apresentadas na Figura 4.5 se assimilam com as curvas encontradas por estudos anteriores e com resultados similares aos demonstrados por Muthukumaran e Ilamparuthi (2006), mostrando a coerência dos resultados encontrados.

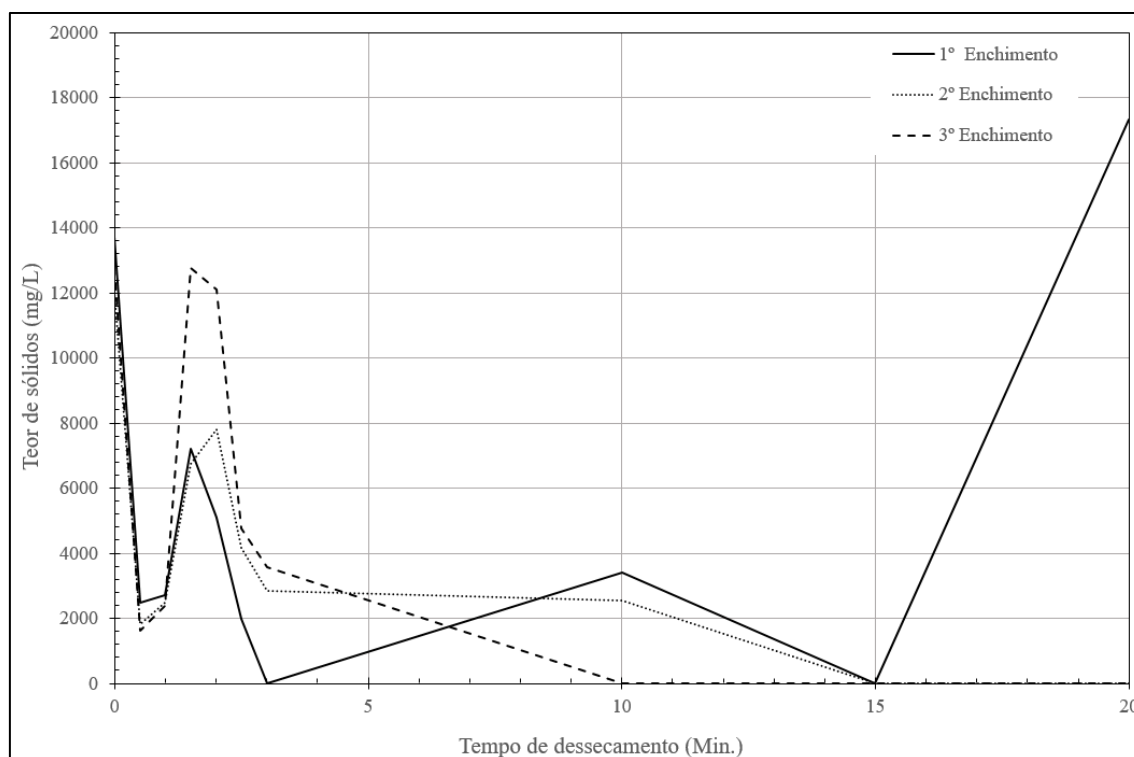
4.2. Sólidos passantes no geotêxtil

Para averiguar a eficiência do dessecamento, Moo-Young (1999) estabeleceu uma relação entre a quantidade de sólidos totais passante do geotêxtil por litro e a concentração inicial da lama lançada no sistema filtrante. Com esse mesmo intuito, foi contabilizada a quantidade e sólidos passante nos três tipos de geotêxteis estudados no início do escoamento e cada trinta segundos até o terceiro minuto do escoamento, posteriormente, foi realizado leituras apenas nos tempos em dez, quinze e vinte minutos do início do escoamento.

4.2.1. Quantidade de sólidos passante no GTX100

A quantidade de sólidos totais passantes na mistura após o dessecamento está representada na Figura 4.6 para todos os enchimentos realizados no GTX100.

Figura 4.6 – Teor de sólidos passante no GTX100.



Na Figura 4.6 é possível observar que a quantidade de sólidos passante pelo GTX100 apresentou um início bastante irregular, tal aspecto pode ter ocorrido pela não conclusão da compactação dos sólidos, aliado a grande abertura de filtração presente no geotêxtil em estudo,

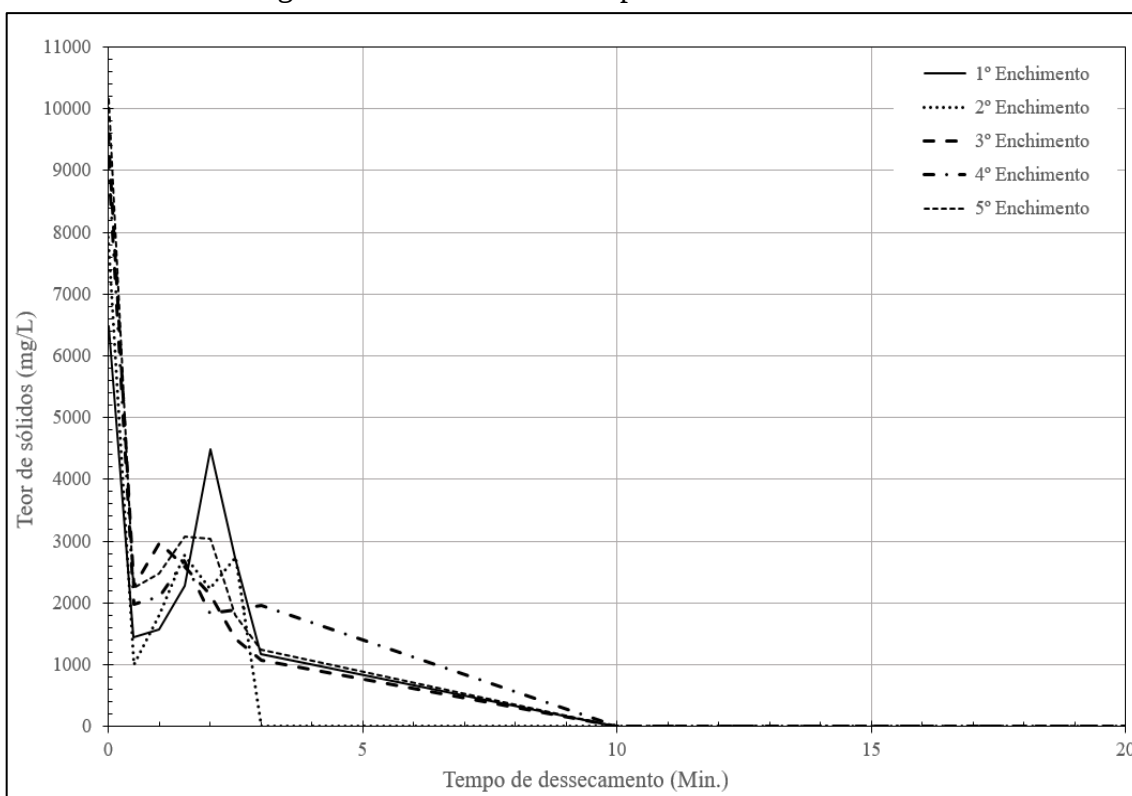
permitindo que as partículas sólidas da lama ultrapassassem com facilidade a matriz polimérica. Entre o segundo e o terceiro minuto do escoamento é observado uma tendência de queda para os três enchimentos realizados, isso pode ser observado pois a formação do *filter cake* teria instabilizado, ou seja, esse tempo corresponderia aproximadamente ao tempo de transição entre o segundo e terceiro estágio do gráfico de vazão apresentado no item 4.1.1.

Após o terceiro minuto ainda é notória a redução do teor de sólidos passantes com o número de enchimentos inseridos, mostrando a estabilização do sistema e o ganho da eficiência na redução de sólidos com o aumento da camada de sólidos retida, sendo essa camada exercendo uma grande influência na qualidade da filtração. O grande acréscimo durante o primeiro enchimento por volta do decimo quinto minuto se deve a algum possível carreamento das partículas que estavam instáveis sobre a camada drenante que foram carreadas durante o escoamento e contabilizado no ensaio.

4.2.2. Quantidade de sólidos passante no GTX200

Com o GTX200 foram realizados cinco enchimentos obtendo, assim cinco curvas que estão expostas na Figura 4.7, mostrando a influência na abertura de filtração e no tipo de geotêxtil na retenção dos sólidos.

Figura 4.7 – Teor de sólidos passante no GTX200.



O teor de sólidos do GTX200 mostrou uma queda brusca da primeira para a segunda leitura, representando o ganho na redução de sólidos passantes logo após os trinta segundos iniciais do escoamento. Assim como nos resultados apresentados para o GTX100, o teor de sólidos seguiu uma leve tendência de acréscimo dos sólidos entre os tempos de leitura de trinta segundos e dois minutos mostrando ainda a etapa de acomodação das partículas e a passagem de partículas de menores dimensões até a formação da camada no interior do geotêxtil.

Como mostrado no item 4.2.1 ao atingir o terceiro estágio, no tempo de transição por volta do segundo e terceiro minuto, ocorreu a conclusão da formação do *filter cake*, conforme explicado por Muthukumaran e Ilamparuthi (2006) ocorrendo uma redução nas partículas sólidas passantes com a formação dessa camada.

O comportamento encontrado nos sólidos totais se assimila com os resultados obtidos por Gastaud et al. (2012) no qual foram constatados uma queda brusca no início, nos minutos iniciais, observando o uma queda da quantidade de sólidos de modo a formar uma curva exponencial reduzindo para zero o teor de sólidos a longo prazo, assim como foi representado por esse estudo.

4.2.3. Quantidade de sólidos passante no GTX300

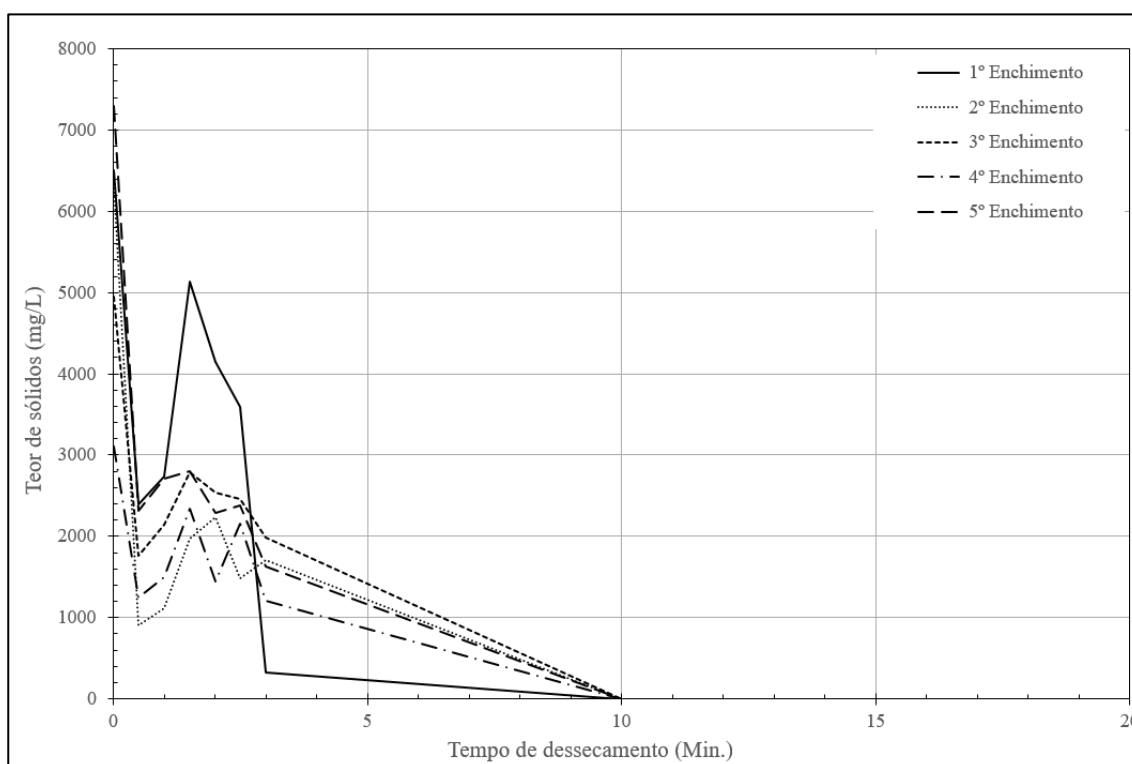
O GTX300 corresponde ao geotêxtil com menor abertura de filtração o que iria, consequentemente, reter a maior quantidade de partículas sólidas dentro do geotêxtil filtrante. A Figura 4.8 mostra os resultados obtidos para os cinco enchimentos realizados para este geotêxtil.

Como observado a tendência de decréscimo da quantidade de sólidos passantes nos primeiros trinta segundos de escoamento se manteve, conforme foi observado nos outros geotêxteis estudados, porém houve uma redução na quantidade de sólidos passantes mais expressiva no primeiro enchimento quando comparado aos demais enchimentos isso pode ser atribuído devido à instabilidade existente no sistema inicialmente, com a possível retenção das partículas sólidas na camada de brita.

Do primeiro ao segundo enchimento é possível constatar que houve uma queda na quantidade de sólidos que passaram no geotêxtil, entretanto no terceiro enchimento foi observado um acréscimo na quantidade de sólidos passantes que voltou a cair no quarto enchimento, como exposto na Figura 4.18 e no quinto enchimento a quantidade de sólidos passantes a cada instante medido voltou a crescer de forma a mostrar a variabilidade existente entre os enchimentos, contudo o comportamento de toda a curva em cada enchimento se

manteve um padrão de queda acentuada seguido de um leve enchimento e uma queda a partir do segundo e terceiro minuto de escoamento. Assim como para a quantidade de sólidos medidos para o GTX200 após o 10 minuto a quantidade de sólidos foram zero tendo uma eficiência de escoamento de 100 %.

Figura 4.8 – Teor de sólidos passante no GTX300.



A Tabela 4.4 mostra um valor médio de para cada enchimento em cada geotêxtil obtidos por meio da média aritmética entre os valores mensurados para cada intervalo de tempo de coleta, de forma a facilitar o entendimento e compreender como ocorreu a redução de sólidos totais com o passar dos enchimentos e auxiliar na comparação dos resultados do estudo.

Tabela 4.4 – Valor médio de sólidos totais para cada enchimento realizado (mg/L).

	GTX100	GTX200	GTX300
1º enchimento	3322,73	2015,51	2481,41
2º enchimento	3787,84	1845,08	1577,00
3º enchimento	4996,80	2206,96	1861,73
4º enchimento	-	2163,24	1299,22
5º enchimento	-	2402,14	2142,36

É notório que para o GTX100 ocorreu um aumento no valor médio dos sólidos totais com o passar dos enchimentos, fator este, que mostra que o GTX100 foi pouco eficaz na redução da quantidade de sólidos em seu interior, como esperado devido a sua maior abertura de filtração. O GTX200 ocorreu uma tendência de redução do teor de sólidos totais mesmo que no quinto enchimento houve um grande ganho de teor de sólidos, porém houverem menores teores de sólidos quando comparados com os obtidos para o GTX100.

Para o GTX300 a redução do teor de sólidos em comparação com o GTX200 é notória com o passar dos enchimentos, exceto no primeiro enchimento que propiciou um leve aumento no teor de sólidos do GTX300 em comparação com o teor de sólidos totais do GTX200, podendo ser explicado pelo fato que durante o primeiro enchimento ocorre as acomodações das partículas sólidas no protótipo desenvolvido, de forma que elas fiquem estáveis na camada drenante.

4.3. Gramatura do geotêxtil após os ensaios

Com o escoamento do fluido sobre a camada de geotêxtil, partículas sólidas tendem a ficar retidas nos vazios do material polimérico filtrante, podendo formar grumos compostos por partículas menores conforme mostrado por Palmeira *et al.* (2005). Ao se depositar nos vazios as partículas servem de obstáculo para a passagem de água e o geotêxtil passa a reter cada vez mais as partículas de sólidos, propiciando uma melhor eficiência no escoamento do fluido.

A Figura 4.9 mostram as partículas de sólidos fixas nos canalículos do geotêxtil, para cada plano da camisa de geotêxtil elaborada, conforme a Figura 3.11, implicando no bloqueio da passagem de mais sólidos outro fator que é possível observar são os espaços vazios entre o aglomerado de sólidos por onde a passagem da água de forma mais intensa. O geotêxtil demonstrado na figura é o GTX300 que apresentou melhores resultados na retenção de sólidos com um menor pico de vazão quando comparados com os demais geotêxteis estudados.

Como observado na Figura 4.9, as partículas sólidas ficam depositadas na matriz polimérica resultante da percolação do lama sobre a mesma, aumentando assim a massa por unidade de área da de cada geotêxtil estudado. O valor registrado da gramatura pertencente ao GTX100 no final dos três enchimentos realizados está mostrado na Tabela 4.5.

Figura 4.9 – Geotêxtil no final dos enchimentos de cada face da camisa polimérica elaborada do GTX300. a) atrás; b) frente; c) Fundo; d) lateral direita; e) lateral esquerda.

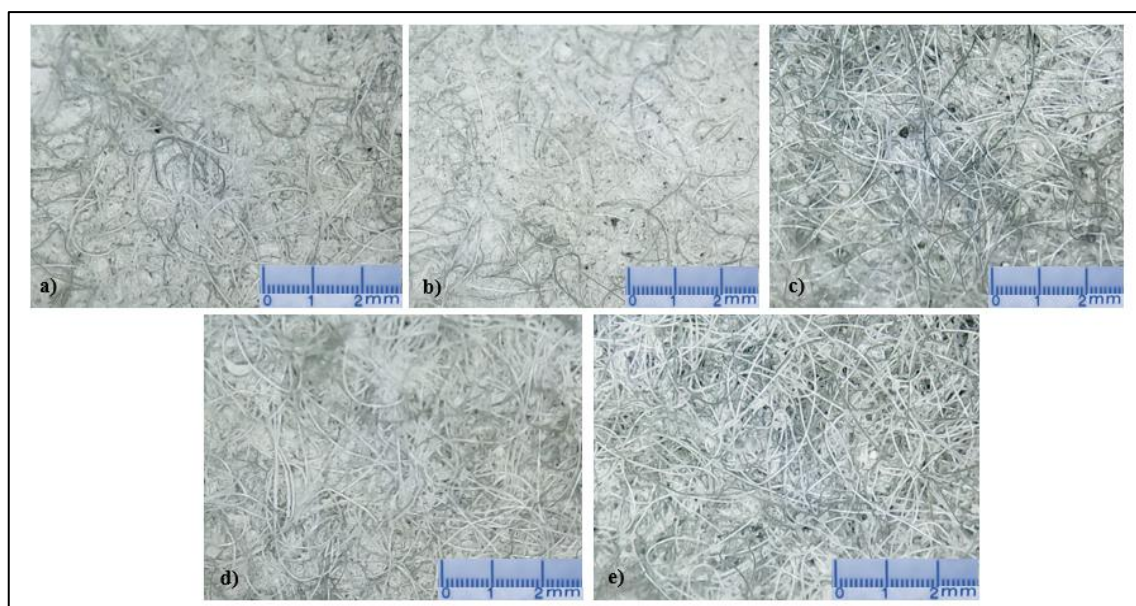


Tabela 4.3 – Massa por unidade de área para o GTX100.

Posição da amostra	Gramatura (g/m ²)	Desvio padrão (g/m ²)	Coef. de variação
Lateral Direita	286,00	19,54	6,83 %
Lateral Esquerda	178,25	9,67	5,43 %
Frente	247,00	5,20	2,10 %
Atrás	279,00	25,94	9,30 %
Fundo	346,67	55,95	16,14 %

Os dados apresentados na Tabela 4.5 é possível observar o grande aumento na gramatura devido ao depósito das partículas sólidas dentro da matriz polimérica, as partículas sólidas concentraram-se no fundo da caixa de geotêxtil elaborada justamente devido o fluxo ocorrer por meio da gravidade com um caminho preferencial sendo de forma descendente, com isso há uma tendência de haver um maior depósito de sólidos nos vazios do fundo quando comparado com os demais planos.

A parte de atrás do geotêxtil (o plano mais distante do ralo) obteve uma maior gramatura que o vértice da frente, o que não foi o esperado pois o ralo de saída se situava na

parte da frente do protótipo elaborado, entretanto foi constatado um alto desvio padrão das amostras mediadas mostrando a variabilidade existente.

A Tabela 4.6 mostra o valor da gramatura do GTX200 após os cinco enchimentos realizados.

Tabela 4.3 – Massa por unidade de área para o GTX200.

Posição da amostra	Gramatura (g/m²)	Desvio padrão (g/m²)	Coef. de variação
Lateral Direita	418,00	24,49	5,86%
Lateral Esquerda	599,75	43,35	7,23%
Frente	547,67	17,67	3,23%
Atrás	422,00	28,69	6,80%
Fundo	823,33	60,39	7,33%

Ao descontar a gramatura do geotêxtil no início do ensaio com a obtida no final dos enchimentos é possível constatar que a foi superior a gramatura obtida no GTX100 para todos os lados do geotêxtil estudado, isso se deve tanto ao diferente número de enchimentos realizados, como também, a maior abertura da malha do GTX100 permitindo que as partículas sólidas atravessassem com maior facilidade o geotêxtil em estudo restando pequena quantidade em seu interior. A influência da abertura de filtração e de outros fatores também foi demonstrada nos estudos de Giroud (1996). A maior gramatura foi a do fundo, justamente devido a direção preferencial do fluxo, também é possível observar uma maior gramatura na frente e na lateral esquerda, ou seja, nos vértices próximos na localização do ralo do protótipo desenvolvido, mostrando a preferência de fluxo nessa região. A Tabela 4.7 mostra o resultado da gramatura obtida para o GTX300 ao final dos cinco enchimentos realizados.

Assim como nos resultados da gramatura obtidos no GTX200, houveram maiores valores de gramatura na parte da frente, fundo e na lateral esquerda do protótipo, devido à proximidade da região com o ralo de descarga. Também é possível observar o aumento das partículas sólidas retidas no interior da matriz polimérica com a redução da abertura de filtração. Tenho o fundo absorvendo cerca de 665,25 g/m² de rejeito em seu interior.

Tabela 4.3 – Massa por unidade de área para o GTX300.

Posição da amostra	Gramatura (g/m²)	Desvio padrão (g/m²)	Coef. de variação
Lateral Direita	574,00	25,63	4,46 %
Lateral Esquerda	596,75	20,92	3,51 %
Frente	614,67	116,38	18,93 %
Atrás	522,67	5,77	1,10 %
Fundo	965,25	107,78	11,17 %

5 CONCLUSÕES E SUGESTÃO PARA PESQUISAS FUTURAS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o dessecamento da lama proveniente do corte de rochas ornamentais que foi possível por meio da análise do comportamento da curva da vazão e do teor de sólidos passante em função do tempo de dessecamento, no qual buscou equacionar o seu comportamento para cada tipo de geotêxtil utilizado. Para a realização do estudo, foi desenvolvido um protótipo retangular de pequenas dimensões dotado em seu interior de uma camada drenante formada por brita e revestido internamente por uma camada filtrante de geotextil não tecido, de modo que a lama fosse dessecada pela ação da gravidade. Foram utilizados três tipos de geotêxteis com diferentes propriedades físicas e hidráulicas observando a resposta de cada um para os cinco enchimentos realizados com a lama produzida em laboratório na concentração de 50 g/l.

O estudo conseguiu observar com êxito o comportamento encontrado pelos geotêxteis em estudo pois foi possível estabelecer um padrão na curva da vazão em função do tempo de dessecamento e assim poder equacionar seu comportamento.com relação ao teor de sólidos passante foi possível concluir a direta influência das propriedades dos geotêxteis em estudo na retenção das partículas sólidas chegando o GTX300 reter uma maior quantidade de sólidos quando comparado com os demais tipos estudados.

5.1. Principais conclusões

As principais conclusões extraídas desse trabalho por meio dos resultados obtidos estão listadas a seguir:

- a) As curvas das vazões obtidas para o protótipo utilizado e para os geotêxteis utilizados obedeceram a uma sigmoideal simétrica 4PL, sendo possível equacionar a curva encontrada e tornou-se possível prever todas as vazões para cada enchimento e geotêxtil específico;
- b) A curva da vazão em função do tempo de dessecamento dos GTX100 e GTX200 foram muito próximas para todos os enchimentos. Possivelmente foi devido a abertura de filtração seja suficiente para atingir a capacidade máxima de escoamento do protótipo desenvolvido;
- c) O GTX300 obteve um menor valor da vazão de pico quando comparado com os outros dois geotêxteis estudados, além de possuir uma curva mais suavizada na entrada do terceiro estágio do gráfico da vazão em função do tempo de

dessecação, mostrando que o GTX300 conseguiu amortizar e melhor distribuir essa vazão ao longo do dessecação;

- d) Foi constatado que quanto menor a abertura de filtração de um geotêxtil, mais rápido ocorre o escoamento e mais rápido forma o *filter cake*, assim, o GTX100 e o GTX200 obtiveram uma queda de vazão bem mais acentuada do que o GTX300, que continha uma menor abertura de filtração;
- e) O tempo de transição permaneceu parecidos entre o GTX100 e o GTX200, porém com o GTX300, nos últimos enchimentos foram observados que houve um aumento no tempo de transição chegando a valores próximos a 3 minutos, mostrando que o tempo de transição só é alterado para longos enchimentos e para geotêxteis com pequena abertura de filtração;
- f) O sistema filtrante desenvolvido foi auto filtrante pois o teor de sólidos passantes pelo protótipo com o passar do tempo de dessecação tendeu a reduzir para cada enchimento, chegando ao valor nulo após o decimo minuto de dessecação, independentemente do tipo de geotêxtil estudado.
- g) O GTX300 obteve o melhor resultado na redução do teor de sólidos totais, chegando a reduzir o teor de sólidos para 7mg/l logo no primeiro enchimento, obtendo valores bem menores que os encontrados pelo GTX100 e GTX200;
- h) O fluido escoar em todas as direções do geotêxtil carregando consigo partículas sólidas para dentro do geotêxtil, tendo maior influência no fundo devido a gravidade.

5.2. Sugestões para futuras pesquisas

Este trabalho é o pioneiro na pesquisa com o dessecação da lama proveniente do corte das rochas ornamentais com a utilização de geotêxteis, sendo assim, existe uma vasta possibilidade de pesquisas possíveis para aprofundar o conhecimento, por meio disto, recomenda-se como pesquisas futuras:

- a) Verificar a turbidez da lama escoada e constatar a melhora na redução de sólidos;
- b) Instalar geoespaçadores nas laterais do protótipo, visando acelerar o dessecação;
- c) Utilizar floculantes na solução visando um maior ganho na eficiência do dessecação;

- d) Buscar variar a inclinação do protótipo, até uma inclinação ideal para o dessecamento eficiente;
- e) Buscar aplicar os geotêxteis em larga escala, para aferir em escala real a utilização dos geotêxteis para essa finalidade.

REFERÊNCIAS

ABIROCHAS (Org.). O setor brasileiro de rochas ornamentais. **ABIROCHAS**, Brasília, jun. 2018.

ABINT. **Programa setorial da qualidade de geotêxteis não tecido**. São Paulo: Abint, 2015. 12 p.

ABNT. **NBR 10004: Resíduos Sólidos- Classificação**. Rio de Janeiro: Abnt, 2004.

ABNT. **NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez**. São Paulo: Abnt, 2017. 5 p.

ABNT. **NBR 7180: Solo — Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro: Abnt, 2016.

ABNT. **NBR 7181: Solo - Análise granulométrica**. São Paulo: Abnt, 2017.

ABNT. **NBR ISO 11058: Geotêxteis e produtos correlatos — Determinação das características de permeabilidade hidráulica normal ao plano e sem confinamento**. São Paulo: Abnt, 2013.

ABNT. **NBR ISO 12958: Geotêxteis e produtos correlatos — Determinação da capacidade de fluxo no plano**. São Paulo: Abnt, 2013. 13 p.

ABNT. **NBR ISO 9863: Geossintéticos — Determinação da espessura a pressões especificadas Parte 1: Camada única**. São Paulo: Abnt, 2013. 5 p.

ABNT. **NBR ISO 9864:2005: Geossintéticos — Método de ensaio para determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos correlatos**. São Paulo: Abnt, 2013. 2 p.

AGUIAR, Paulo R.; VERTEMATTI, José C.. Aplicação em filtração. In: VERTEMATTI, José C.. **Manual Brasileiros de Geossintéticos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2015. Cap. 5. p. 247-274

BHATIA, S.k.; SMITH, J.l.. **Geotextile characterization and poresize distribution: a review of manufacturing processes**. Minnesota: Geosynthetics International, 1996. 21 p.

BON, Ana Maria T.. **Exposição ocupacional á sílica e silicose entre trabalhadores de marmorarias, no Município de São Paulo**. 2006. 323 f. Tese (Doutorado) - Curso de Saúde Ambiental, Usp, São Paulo, 2006.

CAMPOS, A. R. et al. Resíduos: **tratamento e aplicações industriais**. In: Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM, 2014. Cap.9, p.435-492.

CHRISTOPHER, B.r.; FISCHER, G.r.. **Geotextile Filtration Principles, Practices and Problems**. Geosynthetics In Filtration, Drainage And Erosion Control, [s.l.], p.1-17, 1992. Elsevier.

CPRM. **Atlas de rochas ornamentais dos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas**. Brasília: CPRM, 2017. 207 p.

DUFLOT (São Paulo) (Org.). **Isomex® Ultra-Light Duflot**. 2019. Disponível em: <<http://www.directindustry.com/pt/prod/duflot-industrie/product-117867-1406311.html>>. Acesso em: 21 mar. 2019.

FAURE, y et al. A contribution for predicting geotextile clogging during filtration of suspended solids. *Geotextiles and Geomembranes*, [s.l.], v. 24, n. 1, p.11-20, fev. 2006. Elsevier BV.

FOWLER, Jake et al. **Dredging aerobic digested biosolids into geotextile tubes for dewatering, new orleans east municipal sewage treatment plant, new orleans, LA**. In: WEDA CONFERENCE, 1., 2007, New Orleans. Palestra. New Orleans: Weda, 2007.

FREITAS, Raquel Almeida Santos de. **Comportamento de geotêxteis como filtro em resíduos fosfogenso e lama vermelha**. 2003. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Ufrj, Rio de Janeiro, 2003.

GALVIS, Heydy Lucero Trejos. **Avaliação Da Abertura De Filtração De Geotêxteis Sob Confinamento E Parcialmente Colmatados**. 2016. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Unb, Brasília, 2016.

GARDONI, Maria das Graças. **Avaliação da aplicabilidade de ensaios de laboratório e critérios de filtros para a utilização de geotêxteis em solos do Distrito Federal**. 1995. 197 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Geotecnia, Unb, Brasília, 1995.

GARDONI, Maria das Graças. **Estudo Do Comportamento Dreno-Filtrante De Geossintéticos Sob Compressão**. 2000. 336 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Unb, Brasília, 2000.

GASTAUD, Sébastien et al. **Nonwoven geotextiles to filter clayey sludge: An experimental study**. *Geotextiles And Geomembranes*, [s.l.], v. 42, n. 3, p.214-223, jun. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotexmem.2014.03.002>.

GIROUD, J.P., 1982, **Discussion on Filter Criteria for Geotextiles**, Proceedings of the Second International Conference on Geotextiles, Vol. 4, Las Vegas, NV, USA, August 1982, pp. 36-38.

GIROUD, J.P., **Applications et Rôles des Géotextiles**, l'Industrie Textile, No. 1113, Juillet - Aout, 1981, pp. 641-642. 1981.

GIROUD, J.P., **Granular Filters and Geotextile Filters**", Proceedings of GeoFilters , 1996 Lafleur, J. & Rollin, A.L., Editors, Montréal, Canada, May 1996, pp. 565 – 680.

GONÇALVES, Jadel P.. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) para a produção de concretos**. 2000. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Ufrgs, Porto Alegre.

GOURC, J. P.; FAURE, Y. H.. **The soil, the water and the fiber: a fruitful interaction now controlled**. In: International Conference On Geotextiles, Geomembranes And Related Products, 40., 1990, Netherlands. Proceedings. Netherlands: the Hague, 1990. p. 946 - 972.

HUANG, C.-c.; Jatta, M.; Chuang, C.-c.. **Dewatering of reservoir sediment slurry using woven geotextiles. Part II: Analytical results**. *Geosynthetics International*, abr. 2012. Thomas Telford Ltd.

HUANG, C.-c.; LUO, S.-y.. **Dewatering of reservoir sediment slurry using woven geotextiles. Part I: Experimental results**. *Geosynthetics International*, [s.l.], v. 14, n. 5, p.253-263, out. 2007. Thomas Telford Ltd.. <http://dx.doi.org/10.1680/gein.2007.14.5.253>.

KHACHAN, M.m.; BHATIA, S.k.. **The efficacy and use of small centrifuge for evaluating geotextile tube dewatering performance**. *Geotextiles And Geomembranes*, [s.l.], v. 45, n. 4, p.280-293, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotextmem.2017.04.001>.

KOERNER, G; KOERNER, R. **Geotextile tube assessment using a hanging bag test**. *Geotextiles and Geomembranes*, [s.l.], v. 24, n. 2, p.129-137, abr. 2006. Elsevier BV.

LOTTI, Celso L.; BUENO, Benedito S.. **Matérias-Primas**. In: VERTEMATTI, José Carlos. **Manual Brasileiros de Geossintéticos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2015. Cap. 2. p. 31-46

MAURER, B.w. et al. **Geotextile dewatering of flocculated, fiber reinforced fly-ash slurry**. *Fuel*, [s.l.], v. 97, p.411-417, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2012.02.013>.

MAURO, Giovanna Callegari. **Estudo Do Processo Produtivo Dos Granitos No Estado Do Espírito Santo Objetivando A Aplicação Destes Na Construção Civil**. 2011. 55 f. Monografia (Especialização) - Curso de Construção Civil, Ufmg, Belo Horizonte, 2011.

MELLO, Ivan Sergio C. **A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para o revestimento no Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisa e Tecnologia, 2004.

MENDONÇA, M. B. et al. **Dewatering of oily slurry using drying bed with geotextile filter**. *Geosynthetics International*, [s.l.], v. 15, n. 3, p.184-191, jun. 2008. Thomas Telford Ltd.

MESSIAS DA SILVA, Andressa. **Abertura De Filtração De Geotêxteis Sob Confinamento**. 2014. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Unb, Brasília, 2014.

MODOLO, Regina Célia Espinosa et al. **Critérios A Serem Adotados Na Adequação De Áreas Para Depósitos De Lama Do Beneficiamento De Rochas Ornamentais Do Município De Cachoeiro De Itapemirim (ES/BRASIL)**. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Espírito Santo*, v. 6, n. 3, p.181-200, out. 2017.

MONTANI, C. Stone; **repertorio econômico mondiale**. Faenza: Grupo editoriale Faenza Editrice. S.P.A, 2003. 237p

MOO-YOUNG, Horace et al. **The migration of contaminants through geosynthetic fabric containers utilized in dredging operations**. Engineering Geology, [s.l.], v. 53, n. 2, p.167-176, jun. 1999. Elsevier BV.

MOO-YOUNG, Horace K et al.,. **Testing procedures to assess the viability of dewatering with geotextile tubes**. Geotextiles And Geomembranes, [s.l.], v. 20, n. 5, p.289-303, out. 2002. Elsevier BV.

MORAES, Ingrid Vieira Machado de. **Mármore E Granito: Lavra, Beneficiamento E Tratamento De Resíduos**. Rio de Janeiro: Brt, 2006. 21 p.

MOYA, Mauro M. **A indústria de rochas ornamentais: estudo de caso na região de bragança paulista**. 1995. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências, Unicamp, Campinas, 1995.

MUTHUKUMARAN,; ILAMPARUTHI, K. **Laboratory studies on geotextile filters as used in geotextile tube dewatering**. Geotextiles And Geomembranes, [s.l.], v. 24, n. 4, p.210-219, ago. 2006. Elsevier BV.

MYCURVEFIT. **My curve fit, online curve fit**. Disponível em: <<https://mycurvefit.com/>>. Acesso em: 09 fev. 2019.

NEWMAN, P.; Hodgson, M.; Rosselot, E.. **The disposal of tailings and minewater sludge using geotextile dewatering techniques**. Minerals Engineering, [s.l.], v. 17, n. 2, p.115-121, fev. 2004. Elsevier BV.

OLIVEIRA, Tatiane. **Caracterização do resíduo de serragem de rochas ornamentais para aplicações geotécnicas**. 2015. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Geotecnia, Eesc, São Carlos, 2015.

OURO E PRATA GRANITOS. In: **Serragem do granito**. Cachoeiro de Itapemerim -ES, 2010. Disponível em: < <http://www.ouroepratagranitos.com.br> > Acesso em jul. 2013.

PALMEIRA, Ennio M.; Beirigo, Elder A.; Gardoni, Maria G.. **Tailings-nonwoven geotextile filter compatibility in mining applications**. Geotextiles And Geomembranes, abr. 2010. Elsevier BV.

RIBEIRO, Luiz Fernando. **Simulação física do processo de formação dos aterros hidráulicos aplicados a barragem de rejeitos**. 2000. 250 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Unb, Brasília, 2000.

SILVA, André A. Alves da. **Gestão De Resíduos Na Indústria De Rochas Ornamentais, Com Enfoque Para a Lama Abrasiva**. In: Congresso Nacional De Excelência Em Gestão, 7., 2011, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Inovarse, 2011.

SILVA, Laís Cristina Freitas. **Utilização De Tubos Geotêxteis Para Confinamento, Desaguamento E Empilhamento De Rejeito De Ouro**. 2017. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Ufmg, Belo Horizonte, 2017.

SOUZA, Davi Vargas de et al. **Estudo Comparativo Da Utilização De Teares Multilâmina e Multifio No Beneficiamento De Granitos Comerciais**. In: Anais 20º Jornada De Iniciação Científica, 10., 2012. Rio de Janeiro: Cetem, 2012.

SOUZA, L. R.; RIBEIRO, R. C. C. & CARRISSO, R. C. C., **Aplicação de Rejeitos Oriundos do Corte de Mármore como Carga na Indústria Polimérica**. In: Anais da 16º Jornada de Iniciação Científica do CETEM. Rio de Janeiro, 2008.

VERTEMATTI, José C.; CASTRO, Gerson R.. Contenções em Obras Hidraulicas. In: VERTEMATTI, José C.. **Manual Brasileiros de Geossintéticos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2015. Cap. 6. p. 275-304.

VIDAL, Francisco W. H. et al (Ed.). **Tecnologia De Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra E Beneficiamento**. Rio de Janeiro: Cetem, 2013. 700 p.

WEGGEL, J. Richard; DORTCH, Jacob. **A model for *filter cake* formation on geotextiles: Experiments**. Geotextiles And Geomembranes, [s.l.], v. 31, p.62-68, abr. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotexmem.2011.10.003>.

WEGGEL, J. Richard; WARD, Nicholas Dudley. **A model for *filter cake* formation on geotextiles: Theory**. Geotextiles And Geomembranes, [s.l.], v. 31, p.51-61, abr. 2012. Elsevier BV.