



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

OLGA ELYZABETH LUCENA ALMEIDA

**RECUPERAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM REJEITO DA LAVAGEM DE
CORTE DE GRANITO UTILIZANDO TÉCNICA DE BIORREMEDIAÇÃO**

**CAMPINA GRANDE - PB
2019**

OLGA ELYZABETH LUCENA ALMEIDA

**RECUPERAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM REJEITO DA LAVAGEM DE
CORTE DE GRANITO UTILIZANDO TÉCNICA DE BIORREMEDIAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Área de concentração: Meio Ambiente.

Orientadora: Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima (DESA/UEPB)

Coorientador: Dr. José Carlos Aguiar da Silva (Embrapa - Algodão)

**CAMPINA GRANDE – PB
2019**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

A447r Almeida, Olga Elyzabeth Lucena.

Recuperação de solo contaminado com rejeito da lavagem de corte de granito utilizando técnica de biorremediação [manuscrito] / Olga Elyzabeth Lucena Almeida. - 2019.

27 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2020.

"Orientação : Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima ,
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

"Coorientação: Prof. Dr. José Carlos Aguiar da Silva ,
Embrapa Algodão"

1. Biorremediação. 2. Landfarming. 3. Contaminação do solo. 4. Rochas ornamentais. I. Título

21. ed. CDD 628.44

OLGA ELYZABETH LUCENA ALMEIDA

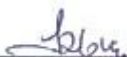
RECUPERAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM REJEITO DA LAVAGEM DE
CORTE DE GRANITO UTILIZANDO TÉCNICA DE BIORREMEDIÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

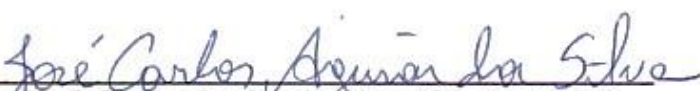
Área de concentração: Meio Ambiente.

Aprovada em: 06/12/2019.

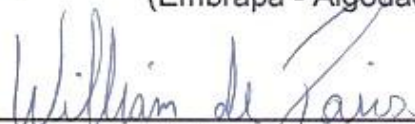
BANCA EXAMINADORA




Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (DESA/UEPB)



Dr. José Carlos Aguiar da Silva (Coorientador)
(Embrapa - Algodão)



Prof. Dr. William de Paiva (Examinador)
Universidade Estadual da Paraíba (DESA/UEPB)



Profa. Dra. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva
Universidade Estadual da Paraíba (DQ/UEPB)

Aos meus pais e avós, pela dedicação,
companheirismo e amizade. DEDICO.

RESUMO

O resíduo de beneficiamento do granito é considerado um contaminante do meio ambiente, sendo lançado de maneira inadequada na maioria das vezes. Com o intuito de minimizar esses impactos, várias pesquisas têm sido realizadas para um melhor descarte e/ou reaproveitamento desses resíduos de maneira sustentável, um deles é para o enriquecimento nutricional do solo e nutrição das plantas. Nesse contexto, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o *Landfarming* como técnica de biorremediação na redução ou total remoção do rejeito de beneficiamento do granito (lama) adicionado ao solo em condições de campo para possível utilização na agricultura. No presente estudo foi observado o comportamento do solo em condições de campo, misturado com porcentagens de 1,66; 3,33; 5,0 e 6,66% do rejeito oriundo do corte de granito. Foram feitas análises da umidade após 72 h da umidificação do solo com água. Foi realizada uma pausa de 90 dias para que o solo natural e o rejeito tivessem maiores interações químicas, físicas e biológicas, sendo esse o processo natural da biorremediação. Em seguida foi feito o revolvimento do solo e nova umidificação, conferindo a umidade após 72 h. A água infiltrada foi coletada, medido seu volume em ambas as umidificações e analisadas por meio da quantificação da Demanda Química de Oxigênio (DQO). O monitoramento da umidade permitiu avaliar qual porcentagem de rejeito se comportaria de maneira semelhante ao solo em condições de campo. A realização da análise de DQO apresentou resultados promissores considerando o tempo de tratamento. O teste de infiltração de água do solo serviu para verificar o tempo necessário para saturação do solo, tendo quatro dos cinco compartimentos estudados atingido sua capacidade máxima de infiltração ou saturação por volta de 53 segundos. Após 90 dias de estudo, o solo apresentou sinais de recuperação com o aparecimento de algumas plantas herbáceas e gramíneas, tanto no compartimento onde não teve adição da lama de rejeito, quanto nos compartimentos com as adições de lama. Foi possível concluir que é viável utilizar a técnica de biorremediação para reaproveitamento desse rejeito como complemento para solos.

Palavras-chave: Biorremediação; Landfarming; Contaminação do solo; Rejeito Mineração.

ABSTRACT

Granite beneficiation waste is considered a contaminant of the environment and is thrown inappropriately most of the time. In order to minimize these impacts, several researches have been carried out for a better disposal and/or reuse of these residues in a sustainable way, one of them for soil nutritional enrichment and plant nutrition. In this context, the objective of this research was to evaluate Landfarming as a bioremediation technique in the reduction or total removal of granite (sludge) processing waste added to the soil under field conditions for possible use in agriculture. In the present study, soil behavior under field conditions was observed, mixed with percentages of 1.66; 3.33; 5.0 and 6.66% of the waste from the granite cut. Moisture analyzes were performed after 72 h of soil humidification with water. A 90-day break was performed so that natural soil and tailings had greater chemical, physical and biological interactions, which was the natural process of bioremediation. Then the soil was revolved and humidified again, checking the humidity after 72 h. The infiltrated water was collected, its volume measured in both humidification and analyzed by quantifying the Chemical Oxygen Demand (COD). Moisture monitoring allowed us to evaluate which percentage of tailings would behave similarly to the soil under field conditions. The COD analysis showed promising results considering the treatment time. The soil water infiltration test was used to verify the time required for soil saturation. Four of the five compartments studied reached their maximum infiltration or saturation capacity around 53 seconds. After 90 days of study, the soil showed signs of recovery with the appearance of some herbaceous and grassy plants, both in the compartment where there was no addition of tailings sludge, and in the compartments with mud additions. It was concluded that it is feasible to use the bioremediation technique to reuse this waste as a complement to soils.

Keywords: Bioremediation; Landfarming, Ground Contamination; Mining Tailings;.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
2.1 CONTAMINAÇÃO DO SOLO	8
2.2 TÉCNICA DE REMOÇÃO DE CONTAMINANTES DO SOLO.....	9
2.2.1 Biorremediação	9
2.2.1.1 <i>Técnica Landfarming</i>	10
2.3 INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO	10
2.4 ROCHAS ORNAMENTAIS.....	11
2.4.1 Processo de Beneficiamento	11
2.4.1.1 <i>Beneficiamento primário</i>	11
2.4.1.2 <i>Beneficiamento secundário</i>	13
2.4.2 Resíduo de Corte de Rochas Ornamentais	13
3 MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1 MATERIAIS	14
3.2 MÉTODOS	14
3.2.1 Adição de mistura do rejeito em pó ao solo em condições de campo	14
3.2.2 Monitoramento da umidade	15
3.2.3 Determinação da infiltração da água no solo e da quantidade de água a ser adicionada	16
3.2.4 Quantificação da Demanda Química de Oxigênio (DQO)	16
3.2.5 Aparecimento natural de plantas espontâneas	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DO SOLO EM CONDIÇÕES DE CAMPO E DO REJEITO DO CORTE DE GRANITO	17
4.2 ANÁLISE DE UMIDADE DO SOLO.....	18
4.3 TESTE DE INFILTRAÇÃO	20
4.4 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	21
4.5 SURGIMENTO NATURAL DE PLANTAS ESPONTÂNEAS.....	22
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
REFERÊNCIAS	24
AGRADECIMENTOS	26

1 INTRODUÇÃO

Segundo Montani (2017) a atividade de beneficiamento de rochas no Brasil é a quarta maior produtora de rochas ornamentais no mundo, no qual no ano de 2016 gerou em torno de 3 milhões de resíduos, sendo estes descartados de maneira inadequada em lagoas de decantação ou nos próprios pátios das beneficiadoras, podendo contaminar água e solo.

Devido à mineralogia desses resíduos são observados teores significativos de alguns elementos químicos considerados macronutrientes, tais como: potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e micronutrientes, ferro (Fe), para as plantas. Apesar da presença vantajosa de alguns nutrientes, é também possível que o resíduo de beneficiamento do granito apresente quantidades apreciáveis de cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni) e chumbo (Pb) que podem ser tóxicos para as plantas e/ou nocivos à saúde humana quando em concentrações elevadas.

A utilização da técnica de Biorremediação *Landfarming* pode ser uma alternativa para minimização dos impactos ambientais causados pela deposição dos rejeitos (lama) do corte de granito com sua utilização na agricultura. Dessa forma, buscar soluções que apresentem alto desempenho técnico, como também menores custos com a sua aplicação é uma necessidade urgente dentro de qualquer área do conhecimento.

Entre as principais vantagens do emprego dos processos biológicos está o seu baixo custo quando comparado com os processos convencionais. Santos et al. (2019) destaca que o processo ocorre com baixo consumo de energia, causando poucas mudanças nas características físicas, químicas e biológicas no local onde são aplicados.

De acordo com Hamdi et al. (2007) a tecnologia *Landfarming* apresenta excelente relação custo-benefício quando comparada aos demais processos de tratamento de resíduos sólidos. No entanto, alguns requisitos operacionais devem ser rigorosamente obedecidos a fim de obter significativa biodegradação de hidrocarbonetos e a formação de metabólitos não tóxicos (ABNT NBR ISO 13.894, 2015).

Diante do exposto torna-se necessário um estudo com o objetivo de avaliar a interação do resíduo de beneficiamento do granito com o solo, em condições de campo, para análise de características físicas, químicas e biológicas dessa mistura para uma possível utilização na agricultura utilizando a técnica da biorremediação *Landfarming*.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONTAMINAÇÃO DO SOLO

Em decorrência da revolução industrial houve um aumento significativo da poluição e conseqüentemente da geração de resíduos. Muitos dos problemas atuais relacionados ao meio ambiente resultam da má gestão dos resíduos gerados tendo como conseqüência contaminações do solo, água e ar.

O termo “contaminação do solo” refere-se à presença de substâncias tóxicas de classes químicas tais como: *Volatile Organic Compounds* (VOC), hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos como benzeno, tolueno e xileno (BTX), óleos pesados, subprodutos do craqueamento dos derivados petroquímicos, elementos inorgânicos radionuclídeos, metais pesados, solventes e compostos clorados, hidrocarbonetos

aromáticos polinucleares (PAHs), fenóis, pesticidas halogenados, aminas nitrogenadas, ésteres, álcoois e produtos intermediários (BOOPATHY, 2002).

Conforme Silva et al. (2012) os poluentes inorgânicos são tidos como “elementos tóxicos” e compreendem elementos metálicos e metaloides. Incluem nessa denominação elementos que em baixa concentração são biologicamente essenciais a organismos vivos. Contudo, quando estes elementos essenciais se encontram em concentrações mais elevadas do que as necessárias, provocam também desequilíbrio apresentando assim toxicidade.

Entre os elementos que podem estar no ambiente, os mais potencialmente tóxicos às plantas e aos animais são: Arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), mercúrio (Hg), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn) (NELLESSEN; FLETCHER, 1993). Os quatro primeiros são tóxicos principalmente aos animais, enquanto os três últimos recebem a qualificação de fitotóxicos, apesar de todos serem potencialmente nocivos à saúde humana.

Os elementos tóxicos advêm de fontes naturais, tais como depósitos minerais, e neste caso são referidos como elementos-traço, que juntos constituem menos de 1% da composição das rochas na crosta terrestre (ELEUTÉRIO, 1997); ou de fontes antropogênicas, e entre elas destacam-se as indústrias química e metalúrgica, a mineração, os pesticidas agrícolas, os lixões e os esgotos domésticos.

2.2 TÉCNICA DE REMOÇÃO DE CONTAMINANTES DO SOLO

2.2.1 Biorremediação

Biorremediação é um processo no qual os organismos vivos, normalmente plantas ou microrganismos, são utilizados tecnologicamente para remover ou reduzir (remediar) poluentes no ambiente. Essa técnica tem sido vista como uma alternativa viável para o tratamento de ambientes contaminados, tais como águas superficiais, subterrâneas e solos, além de resíduos e efluentes industriais em aterro de contenção (GAYLARD et al., 2005).

A biorremediação envolve a utilização de microrganismos, de ocorrência natural (nativos) ou cultivada, para degradar ou imobilizar contaminantes em águas subterrâneas e em solos. No caso de solos, geralmente, os microrganismos utilizados são bactérias, fungos filamentosos e leveduras.

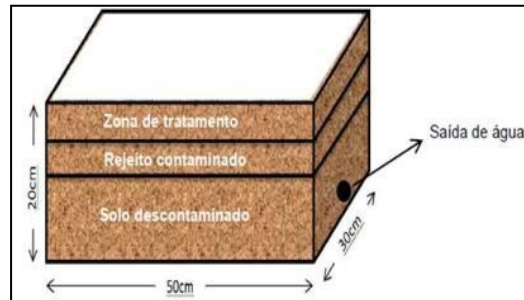
Dependendo da possibilidade de desenvolvimento das análises físicas, químicas e biológicas do solo, são aplicados dois tipos de técnicas para a biorremediação: a remoção *in situ* ou *ex situ*.

- **Biorremediação In Situ:** o tratamento do material contaminado é feito no próprio local. Tem como vantagem o baixo custo e a possibilidade de tratamento de grandes áreas, no entanto, o tratamento é mais lento. São aplicadas as seguintes técnicas: atenuação natural, bioaugmentação, bioestimulação, fitorremediação e *Landfarming*.
- **Biorremediação Ex Situ:** o tratamento do material contaminado é feito em um local diferente de sua origem. Nesse caso, ela é utilizada quando há risco de propagar rapidamente a contaminação. Esse processo gera maiores custos, porém oferece mais possibilidades de controle dos fatores que influenciam a biodegradabilidade. São aplicadas as seguintes técnicas: compostagem e biorreatores.

2.2.1.1 Técnica Landfarming

Consiste na aplicação e incorporação de contaminantes ou rejeitos contaminados na superfície do solo não contaminado para posterior degradação (Figura 1). As técnicas operacionais de um *Landfarming* incluem: aeração do solo; umidificação; adição de nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio – macronutrientes); e, em alguns casos, bioaugmentação com microrganismos previamente selecionados.

Figura 1 - Esquema do biorreator horizontal, em escala de laboratório, utilizado para a técnica *Landfarming*.



Fonte: LIMA (2018).

Esse sistema é aplicado para tratamentos de fase sólida de solos contaminados e pode ser realizado *in situ* ou *ex situ* (BOOPATHY, 2000). Nesta técnica os microrganismos da camada superficial do solo são estimulados a degradar os poluentes transformando-os em substâncias inertes como dióxido de carbono (CO₂) e água. Por meio do revolvimento do solo e uso de aeração a eficiência do *Landfarming* depende das características dos solos, dos constituintes do resíduo e das circunstâncias climáticas (TOCCHETTO, 2008).

2.3 INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

O conhecimento da infiltração é um fator de extrema importância prática nas relações água-solo-planta-atmosfera, visto que sua taxa ou velocidade, muitas vezes, permite determinar a precipitação efetiva infiltrada e o escoamento superficial do solo em utilização, sendo, no entanto, influenciada por diversos fatores. Nos diversos sistemas de plantio, sua influência será maior ou menor dependendo do conteúdo inicial de umidade, da permeabilidade, de suas características físicas e químicas do solo, bem como, o conteúdo de matéria orgânica e o grau de compactação do mesmo (SILVA, 2002).

A infiltração, segundo Silva (2003), é o processo pelo qual a água penetra na camada superficial do solo e se move para baixo em direção ao lençol freático. Para Sobrinho et al. (2003) a infiltração é o processo pelo qual a água penetra no perfil do solo. Inicialmente, seu valor é elevado, diminuindo com o tempo, até se tornar constante no momento em que o solo fica saturado.

Segundo Reichert et al. (1992) a infiltração de água no solo é um processo físico de extrema complexidade, dado que o solo é um meio heterogêneo com ampla variabilidade espacial, apresentando características que sofrem alterações diferenciadas no tempo e no espaço.

2.4 ROCHAS ORNAMENTAIS

O termo rocha ornamental é utilizado para rochas que, após processo de beneficiamento como serragem, polimento e lustração, tem suas características intrínsecas (textura, estrutura, trama dos minerais) ressaltadas, conferindo-lhes grande beleza; permitindo assim seu uso na construção civil entre outros setores (ABREU et al. apud GIACONI, 1998).

Comercialmente as rochas são classificadas em dois grupos: mármore (rochas carbonáticas) e granito (rochas silicáticas ígneas, de textura granular, contendo minerais essenciais como feldspato, mica e quartzo).

O segmento de rochas ornamentais é bastante significativo na economia brasileira, sendo o quarto maior produtor ficando atrás somente da China, Índia e Turquia. No mundo, em 2016, foram produzidas aproximadamente 59,4 milhões de toneladas de resíduos provenientes do processamento de rochas ornamentais (MONTANI, 2017). O processo reúne todas as atividades da cadeia produtiva principal: jazida dos mais diferentes tipos de mármore e granitos, empresas para beneficiamento primário (desdobramento) e secundário (polimentos e produtos acabados), além de outras atividades (MOURA; LEITE, 2011).

2.4.1 Processo de Beneficiamento

O beneficiamento de rochas ornamentais e o desdobramento de materiais brutos extraídos nas pedreiras, na forma de blocos, podem ser subdivididos em processo de beneficiamento primário e secundário.

2.4.1.1 Beneficiamento primário

Outra denominação dada a essa técnica é a desdobragem, é realizado essencialmente por teares multilâmina (também denominados de convencionais) ou multifio, e secundariamente, por talha-blocos e teares diamantados.

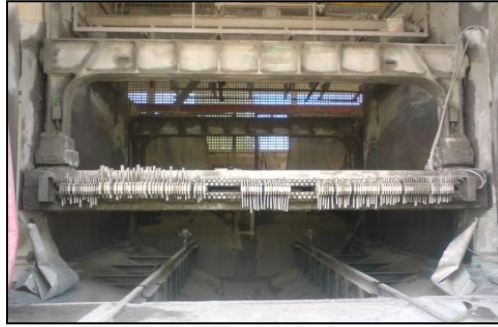
- *Teares*

Nos últimos anos, tem havido um crescimento acentuado no parque tecnológico brasileiro para os teares multifio. Nessa etapa, os blocos são serrados em chapas, tiras ou espessores, com espessuras bastante próximas daquelas que terão os produtos finais.

Os teares são equipamentos robustos, dotados de quatro colunas que sustentam um quadro que realiza movimento pendular. Esse quadro é dotado de múltiplas lâminas de aço carbono (alta dureza) dispostas longitudinalmente, umas paralelas as outras, conforme ilustrado na Figura 2. O bloco de rocha é colocado sob o quadro, cujo movimento oscilatório faz com que as lâminas penetrem no bloco. (CALMON; SILVA, 2006).

Para otimização do corte e resfriamento das lâminas (diminuição do atrito aço-rocha), o bloco é banhado constantemente por uma mistura abrasiva composta de água, gralha de aço (elemento abrasivo), cal (calcário ou carbureto de cálcio, utilizado como lubrificante) e rocha moída, para evitar oxidação (GONÇALVES, 2000).

Figura 2 - Tear para desdobramento de granito.



Fonte: SANTOS et al. (2008).

A mistura abrasiva é distribuída por chuveiros sobre o bloco por meio de bombeamento, onde se infiltra nos canais abertos pelas lâminas no bloco. A mistura retorna ao tanque de bombeamento, quando novamente é bombeada, configurando-se assim uma operação em circuito fechado (CALMON; SILVA, 2006).

No tanque de bombeamento utilizado para controle da mistura, que fica localizado abaixo do tear, a lama de menor granulometria que se posiciona na região superficial, é descartada por transbordamento para tanques de disposição final e a outra parcela da lama é submetida à recirculação.

- *Talha-blocos*

Os talha-blocos de disco diamantado são equipamentos que possuem uma estrutura formada por colunas metálicas ou base em concreto, que sustentam uma trave ou ponte em que está disposto o mandril com o conjunto de acionamento dos discos. Os talha-blocos são basicamente de dois tipos: talha-blocos multi-eixo-multidisco e talha-blocos monodisco com disco de grandes dimensões, conforme ilustrados nas Figuras 3 (a) e (b), respectivamente. São equipamentos de uso mais recente e menos difundido do que os teares.

Figura 3 - Modelos de talha bloco multidiscos (a) e monodisco (b).



(a)

Fonte: CETEMAG (2000).

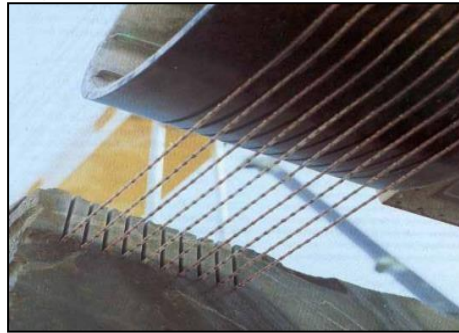


(b)

- *Corte com fio diamantado*

Segundo Alencar et al. (1996) o processo de corte com fio ocorre pela ação abrasiva dos anéis ou pérolas com grãos de diamante, dispostos ao longo do fio. Esta funciona como uma espécie de serra-fita que gira a determinada velocidade e é tensionada sobre o bloco, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Tear de fio diamantado.



Fonte: ROCHAS DE QUALIDADE (2004).

O corte com fio diamantado utiliza equipamentos bastante parecidos com teares por lâminas e os talhas-bloco, porém de construção mais simples.

2.4.1.2 Beneficiamento secundário

Corresponde ao acabamento final das chapas e outras peças que sofrem tratamento para realçar as características necessárias em função do uso previsto. Nessa etapa, é possível observar a atuação de grandes empresas até pequenas marmorarias que produzem peças acabadas a partir de chapas brutas e/ou semielaboradas por terceiros (VIDAL, 1995).

O polimento, também conhecido por esmerilhamento, produz o desbaste fino da chapa e o fechamento dos grãos minerais, tendo como resultado uma superfície lisa e opaca. O lustro, por sua vez, é aplicado para obtenção de uma superfície espelhada, realçando as propriedades de textura e cor da rocha.

2.4.2 Resíduo de Corte de Rochas Ornamentais

O resíduo de corte de rochas ornamentais resulta dos processos de desdobramento de blocos de rocha em chapas, onde se perde cerca de 20 a 30% do volume dos blocos e do polimento das peças serradas, é geralmente classificada como não biodegradável de Classe II B – inertes (ABNT NBR 10004/2004). Os resíduos são caracterizados na maioria das vezes como contaminantes e são prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana, e, portanto, não devem ser lançados na rede pública de esgotos ou corpos de água. Entretanto, com frequência, são depositados no ambiente de modo inadequado, em tanques sem a devida impermeabilização, ou em alguns casos, são lançados diretamente em cursos de água, o que causa poluição, assoreamento, alteração da cor e do potencial hidrogeniônico (pH), gerando prejuízos à fauna e à flora (CALMON; SILVA, 2006).

Esse resíduo pode ser de dois tipos, a depender da tecnologia empregada: 1) resíduo produzido nos teares convencionais (multilâminas), que é uma lama composta por rocha, cal, água, granalha de aço ou de ferro e lâmina desgastada; 2) lama dos teares que utilizam a tecnologia do corte com fio diamantado (multifios), formada basicamente por água, pó de rocha e alguns micro cristais de diamante que podem vir a se desprender do fio diamantado (BRAGA et al., 2010).

Segundo Freire et al. (2009) os componentes da lama abrasiva resultantes dos teares convencionais, tem as seguintes especificações:

- Água: solvente e refrigerante da mistura, a variação de sua porcentagem influi diretamente na densidade e na viscosidade da lama.

- Cal: lubrificante, podendo ser adicionada à água. É tida como antiferrugem por ter caráter básico, como espessador por aumentar a viscosidade da mistura e conseqüentemente, a suspensão da granalha e como detergente por permitir a remoção de partículas desagregadas.
- Pó de pedra: elemento desagregado durante a serrada, variando de pedra pra pedra influenciando diretamente na densidade da lama.
- Granalha: fragmentos de ferro ou aço sendo encontrados em diferentes granulometrias e no formato esférico ou angular, responsável pela degradação da pedra.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

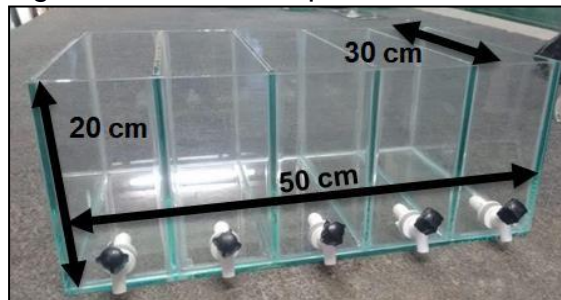
3.1 MATERIAIS

Nessa pesquisa foram utilizados como materiais, o solo em condições de campo (descontaminado) fornecido pela Embrapa – Algodão, e o rejeito do processo de corte de granito gerado em uma indústria de beneficiamento de rochas ornamentais localizada no Município de Campina Grande – PB. Esse rejeito é descartado em lagoas localizadas na própria empresa.

3.2 MÉTODOS

Para os experimentos de biorremediação foi utilizado um biorreator confeccionado em vidro com dimensões iguais a 50x30x20 cm, contendo 5 (cinco) compartimentos, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Biorreator para técnica de *Landfarming*.



Fonte: Própria autoria (2019).

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório Escola de Tecnologia Química (LETEQ), localizado no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba (CCT/UEPB), Campus I.

As análises mineralógicas do solo foram realizadas no Laboratório da Embrapa - Algodão e as caracterizações do solo na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Já as análises de DQO da água percolada foram desenvolvidas na EXTRABES/UEPB, todos localizados no Município de Campina Grande - PB.

3.2.1 Adição de mistura do rejeito em pó ao solo em condições de campo

O solo utilizado para o procedimento foi misturado com as seguintes porcentagens de rejeito (lama): 1,66% (100 g de rejeito); 3,33% (200 g de rejeito);

5% (300 g de rejeito) e 6,66% (400 g de rejeito), tais porcentagens foram determinadas a partir da massa adicionada em cada compartimento, que foi de 6kg e a massa conhecida de cada rejeito.

Em seguida solo e rejeito (lama) foram revolvidos para uma melhor uniformidade na distribuição da carga contaminada e colocados em compartimentos, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição do material no biorreator.

COMPARTIMENTO DO BIORREATOR	COMPOSIÇÃO DO MATERIAL
1	Solo em condições de campo
2	Solo em condições de campo + 100 g de rejeito
3	Solo em condições de campo + 200 g de rejeito
4	Solo em condições de campo + 300 g de rejeito
5	Solo em condições de campo + 400 g de rejeito

Fonte: Própria autoria (2019).

No período de análise do experimento foi realizado o monitoramento do pH, teste de infiltração e recolhida a água percolada no período de 72 h para análise de DQO e comparação da quantidade de água retida em cada umas das porcentagens da composição do material.

Após os resultados das análises do solo foi feita a comparação deles, no início e no final do experimento, determinando as prováveis mudanças que seriam necessárias ao desenvolvimento da técnica de biorremediação e possível utilização desse rejeito na agricultura.

3.2.2 Monitoramento da umidade

O procedimento experimental para determinação da umidade do solo constou da umidificação do mesmo de forma manual 4 (quatro) vezes no intervalo de 3 (três) meses. Além da realização de ensaios para determinação do tempo que a água demora para percolar determinada quantidade de solo e conseqüentemente a quantidade de água a ser adicionada nos compartimentos. Foi utilizado um medidor tipo 3x1 (que mede pH, umidade, luminosidade) para medição umidade durante o período de tratamento, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Ensaio para determinação do tempo de saturação do solo.



Fonte: Própria autoria (2018).

3.2.3 Determinação da infiltração da água no solo e da quantidade de água a ser adicionada

Para determinação da infiltração foram utilizados 30 mL de água e 100 g de amostra de solo de cada compartimento em um recipiente plástico com 5 furos uniformes na parte de baixo e apoiado em funil dentro de um erlenmayer de 500 mL, para uma melhor visualização do instante em que o solo entra em saturação, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Ensaio para determinação do tempo de saturação do solo.



Fonte: Própria autoria (2019).

Após realização do teste de infiltração foi determinada a quantidade de água a ser adicionada nos compartimentos. Conhecendo o valor da massa adicionada em cada compartimento, que foi de 6 kg, valor este estipulado como máximo a partir do volume de cada compartimento, foi efetuada uma regra de três com os dados do teste de infiltração. Na Figura 8 está ilustrada a forma de adicionar a água ao solo dos compartimentos do biorreator.

Figura 8 – Adição de água nos compartimentos.



Fonte: Própria autoria (2019).

3.2.4 Quantificação da Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Para a obtenção dos dados de DQO foi utilizado o método de refluxação fechada ou digestão de pequenas amostras – modificado- método B. Esta norma aplica-se a determinação do valor da DQO de águas brutas em geral, águas poluídas, lodos e efluentes industriais e domésticos conforme Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 (LIMA, 2018).

Este teste foi realizado na EXTRABES/UEPB, com modificações ao método proposto pelo *Standart Methods* na preparação de alguns reagentes químicos para que assim as soluções se ajustassem a uma maior precisão na determinação, dentro de uma faixa de 0 a 1000 mg.L⁻¹.

3.2.5 Aparecimento natural de plantas espontâneas

A identificação do aparecimento natural de plantas espontâneas no solo se deu de maneira visual, em que a partir dos 90 dias da primeira mistura do solo com a lama do rejeito começou-se a observar se o solo já tinha condições físicas, químicas e biológicas para cultivo agrícola. São vários os fatores que afetam o aparecimento espontâneo das plantas no solo. Dentre eles, a movimentação contínua do solo, que modifica sua estrutura e influencia na germinação das sementes. Outros fatores como o teor de água, a temperatura, a luz e o oxigênio também são determinantes em seu aparecimento em maior ou menor quantidade e intensidade. Para Wicks et al. (1995) e Botto et al. (1998) a perturbação do solo altera a sua estrutura e exerce influência em fatores determinantes da germinação das sementes, como o teor de água, a temperatura, a luz, o oxigênio e os nitratos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DO SOLO EM CONDIÇÕES DE CAMPO E DO REJEITO DO CORTE DE GRANITO

Na Tabela 2 estão descritos os resultados dos parâmetros físico-químicos do solo em condições de campo, isto é, com solo descontaminado. A tabela original das análises, enviada pela Embrapa Algodão, encontra-se no Apêndice A.

Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos do solo analisado em condições de campo.

pH H ₂ O 1:2,5	COMPLEXO SORTIVO (mmolc ³ /dm)							%	(mmolc ³ /dm)	mg ³ /dm	g/Kg
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺²	K ⁺²	S	H+Al	CTC	V	Al ⁺³	P	M.O.
6,9	40,9	11	0,4	2,2	54,5	1,7	56,1	97	0,0	46,7	15,7

Fonte: Adaptado das análises da Embrapa - Algodão (2018).

Legenda: Ca⁺²: íon cálcio; Mg⁺²: íon magnésio; Na⁺²: íon sódio; K⁺²: íon potássio; S: enxofre; H+Al: alumínio trocável; CTC: capacidade de troca de cátions; V: percentual de saturação de base; Al⁺³: alumínio; P: fósforo; M.O.: matéria orgânica.

O solo em condições de campo utilizado no experimento possui granulometria mediana e com base nos resultados descritos na Tabela 2, pode-se observar elevado teor de M.O., potencial hidrogeniônico (pH) neutro, elevado percentual de cálcio (Ca⁺²), enxofre (S) e fósforo (P) e uma boa capacidade de troca de cátions (CTC).

Quanto à fertilidade, pode-se considerar como um solo de média a alta fertilidade natural. Porém, é possível observar baixo teor de sódio (Na⁺²), potássio (K⁺²) e alumínio trocável (H+Al), o que indica que para utilização agrícola se faz necessário uma reposição desses nutrientes com adubação específica.

Os resultados da análise mineralógica do rejeito do corte de granito, utilizado no experimento, estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise mineralógica do rejeito do corte de granito.

ELEMENTO	RESULTADO (%)	ELEMENTO	RESULTADO (%)
SiO ₂	60,356	SiO ₂	60,356
Al ₂ O ₃	16,611	Al ₂ O ₃	16,611
Fe ₂ O ₃	8,247	Fe ₂ O ₃	8,247
K ₂ O	5,663	K ₂ O	5,663
CaO	3,917	CaO	3,917
Na ₂ O	2,669	Na ₂ O	2,669
TiO ₂	1,058	TiO ₂	1,058
MgO	0,734	MgO	0,734

Fonte: Adaptado de SOUZA (2018).

Legenda: SiO₂: dióxido de silício; Al₂O₃: óxido de alumínio; Fe₂O₃: óxido de ferro; K₂O: óxido de potássio; CaO: óxido de cálcio; Na₂O: óxido de sódio; TiO₂: dióxido de titânio; MgO: óxido de magnésio; P₂O₅: óxido de fósforo; ZrO₂: dióxido de zircônio; MnO: óxido de manganês; SrO: óxido de estrôncio; Rb₂O: óxido de rubídio; ZnO: óxido de zinco; Y₂O₃: óxido de ítrio; NbO: óxido de nióbio; C: carbono.

Conforme se verifica a partir dos resultados expostos na Tabela 3, o rejeito empregado possui os elementos químicos que faltam no solo em condições de campo, complementando assim as características necessárias ao solo para utilização agrícola.

4.2 ANÁLISE DE UMIDADE DO SOLO

Os resultados da análise de umidade após 72 h em que ocorreu a homogeneização do solo em condições de campo e o rejeito do corte de granito com adição 1710 mL de água (cálculo feito via regra de 3 utilizando massa e volume de água) estão descritos na Tabela 4. Os valores foram coletados em três pontos distintos.

Tabela 4 – Percentual de umidade do solo, na primeira leitura, após 72 h da homogeneização e adição de água.

COMPARTIMENTO	UMIDADE (%)		
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3
1	88	95	100
2	95	100	100
3	95	100	98
4	100	100	98
5	100	100	98

Fonte: Própria autoria (2019).

Conforme se verifica a partir dos dados experimentais descritos na Tabela 4, a análise realizada no solo após 72 h da homogeneização, não apresentou diferenças significativas da umidade entre os pontos estudados. Sendo os compartimentos 4 e 5 com valores de umidade mais uniformes. Isso se deve a quantidade de rejeito presentes nesses compartimentos, que são de 300 e 400 g, respectivamente.

Após 90 dias da homogeneização e da adição de água foi realizada nova leitura da umidade nos compartimentos, estando os valores descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Percentual de umidade do solo, na primeira leitura, após 90 dias da homogeneização e adição de água.

COMPARTIMENTO	UMIDADE (%)		
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3
1	38	32	30
2	22	25	25
3	30	25	28
4	29	29	24
5	40	40	40

Fonte: Própria autoria (2019).

É possível observar por meio dos valores descritos na Tabela 5 um decaimento em torno de 75% da umidade nos 5 (cinco) compartimentos, sendo o 1 e o 5 os que apresentaram maiores valores de umidade do solo. O compartimento 5 devido a maior quantidade de rejeito (400 g de lama), absorveu e reteve maior quantidade de água em seus poros. Isso aconteceu devido às características físicas que a lama apresenta para uma maior probabilidade de retenção de água.

Depois de verificada a umidade após 90 dias, o solo foi retirado de cada compartimento e revolvido separadamente e recolado no biorreator para nova umidificação, desta vez com a adição de 1602 mL de água (mesmo cálculo usado na primeira adição, alterando apenas o valor da massa). Os valores de umidade obtidos após 72 horas estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Percentual de umidade do solo, na segunda leitura, após 72 h da homogeneização e adição de água.

COMPARTIMENTO	UMIDADE (%)		
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3
1	92	100	98
2	100	92	90
3	90	90	99
4	88	90	91
5	89	90	92

Fonte: Própria autoria (2019).

Por meio dos valores expostos na Tabela 6 evidencia-se que a medição da umidade foi menor nos compartimentos 3, 4 e 5 comparativamente com as medições da primeira homogeneização e adição após 72 h. Isso aconteceu devido às interações químicas, físicas e biológicas que ocorreram entre o solo natural e o rejeito (lama), sendo esse o processo natural da biorremediação. Podendo ser corroborado com os resultados obtidos pelas análises da DQO.

Tabela 7 – Percentual de umidade do solo após 60 dias da segunda homogeneização e adição de água.

COMPARTIMENTO	UMIDADE (%)		
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3
1	20	25	40
2	18	30	27
3	35	40	40
4	30	35	35
5	30	35	40

Fonte: Própria autoria (2019).

De acordo com os valores descritos na Tabela 7 é possível afirmar que os resultados obtidos, se comparados com os dados da Tabela 5, não apresentam diferenças significativas da umidade, mesmo observando uma diferença de 30 dias entre as medições. Porém, observa-se que a menor umidade registrada foi determinada no ponto 1 do segundo compartimento e as maiores no ponto 3 dos compartimentos 1, 3 e 5.

Verifica-se no compartimento 1 (um) uma tendência de crescimento do ponto 1 ao ponto 3, podendo-se afirmar que esta situação se deve ao solo estar em condições de campo, sem mistura com lama e o mesmo ter passado pelo processo de revolvimento, o que condiz com a maior exposição de seus poros, fazendo com que a umidade demorasse mais para se estabilizar.

4.3 TESTE DE INFILTRAÇÃO

Na Tabela 8 são apresentados os resultados das médias de tempo necessário para a saturação dos solos de cada compartimento. O teste de infiltração também serviu para identificar qual solo possui maior ou menor grau de compactação.

Os resultados apresentados são as médias das leituras realizadas no início do experimento e após 90 dias de instalação do biorreator.

Tabela 8 – Média das leituras do tempo de saturação dos solos no início e após 90 dias do experimento.

COMPARTIMENTO	TEMPO (SEGUNDOS)	
	1ª LEITURA (início do experimento)	2ª LEITURA (após 90 dias)
1	44,53	45,13
2	53,69	44,88
3	55,54	43,14
4	53,21	49,52
5	53,35	56,90

Fonte: Própria autoria (2019).

Verifica-se por meio dos valores expostos na Tabela 8 que 4 (quatro) dos 5 (cinco) compartimentos analisados atingiram sua capacidade máxima de infiltração ou saturação de água no solo por volta dos 53 segundos sendo que desses, o compartimento 3 (três) foi o único que passou dos 55 segundos e o 1 (um) apenas 44,5 segundos, dados esses da primeira leitura realizada para essa finalidade. Isso pode ser associado à adição da lama de rejeito que possui características de maior retenção do que o solo em condições de campo.

Na segunda leitura realizada após 90 dias do início do experimento ocorreu uma tendência de todos os solos se comportarem como o do compartimento 1 (um), observando-se que o compartimento 5 (cinco) foi o que demorou mais a entrar em capacidade de campo. Diante desse resultado atribui-se esse fato a maior quantidade de rejeito de lama nele depositado, o que pode ter causado uma compactação do solo diminuindo a capacidade e a velocidade de infiltração da água no solo e o tempo de sua saturação.

Na Tabela 9 são apresentados os valores do volume de água coletado após a saturação dos solos analisados no início e depois de 90 dias da adição da água no solo.

Tabela 9 – Volume de água coletado no início e após 90 dias do experimento.

COMPARTIMENTO	VOLUME DE ÁGUA (mL)	
	1ª COLETA (início do experimento)	2ª COLETA (após 90 dias)
1	233,0	347,0
2	291,0	374,0
3	248,5	367,0
4	217,0	356,0
5	120,0	348,0

Fonte: Própria autoria (2019).

Conforme se pode observar na Tabela 9 na primeira coleta os maiores valores de volume de água percolado ocorreram nos solos dos compartimentos 2 (dois) e 3 (três), tendo sido observado o menor valor no compartimento 5 (cinco). O ocorrido no compartimento 5 (cinco) se deve a maior quantidade de rejeito de lama (400 g) adicionada ao solo, que causou uma maior força de adesão e coesão em função das características físicas existentes na lama.

Após os 90 dias do início do experimento ocorreu o processo de readequação das misturas de solo e lama com a umidade e a temperatura, ocasionando valores aproximados das médias conforme valores descritos na Tabela 9 referentes a segunda coleta. Esses resultados dos volumes de água observados pela infiltração e percolação podem ser confirmados pelo excedente de água após a saturação dos solos.

4.4 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

São apresentados na Tabela 10 os valores da DQO obtidos da análise da água após a saturação dos solos.

Tabela 10 – Valores da DQO da água coletada após a saturação do solo.

COMPARTIMENTO	DQO (mg.L ⁻¹)	
	1ª ANÁLISE	2ª ANÁLISE
1	709	724
2	279	454
3	1018	200
4	479	279
5	439	139

Fonte: Própria autoria (2019).

A análise da DQO permite avaliar parâmetros de quantificação de matéria orgânica em compostos aquosos; podendo ser residuais de rios e aquíferos, sendo também usado no estudo de resíduos sólidos, em especial nas lamas.

É possível observar que houve redução nos valores da DQO na água coletada após 72 h, para a primeira e a segunda análise realizadas no intervalo de tempo de 90 dias, porém o resultado para o compartimento 3 (três) não seguiu a mesma tendência que os demais. Esse comportamento pode ser atribuído ao fato do rejeito industrial conter maior concentração de compostos não biodegradáveis.

4.5 SURGIMENTO NATURAL DE PLANTAS ESPONTÂNEAS

A Figura 9 ilustra o surgimento de plantas espontâneas nos 5 (cinco) compartimentos do biorreator.

Figura 9 – Surgimento espontâneo de plantas no biorreator.



Fonte: Própria autoria (2019).

O surgimento natural de plantas espontâneas foi observado a partir dos 90 dias de estudo, o solo apresentou sinais de recuperação com o aparecimento de algumas plantas herbáceas e gramíneas de maior resistência. Tanto no compartimento onde não houve adição da lama (compartimento 1) quanto nos demais compartimentos com as adições de 100, 200, 300 e 400 gramas da lama. Dessa forma, pode-se afirmar que a técnica de biorremediação *Landfarming* pode ser uma alternativa viável no tratamento da lama (rejeito) do corte de granito, mesmo sabendo que dependendo da quantidade dessa lama esse aparecimento pode ter variações, mas que não só a quantidade do rejeito pode determinar esse

aparecimento natural. Outros fatores físicos, químicos e biológicos do solo, para o aparecimento de plantas poderão determinar essa naturalidade.

Na Tabela 11 estão descritos valores da contagem do número de plantas em cada compartimento do biorreator, sendo essa realizada em um espaço de uma semana entre elas.

Tabela 11 – Quantidade de plantas por compartimento.

COMPARTIMENTO	1ª CONTAGEM	2ª CONTAGEM
1	48	49
2	11	12
3	24	26
4	15	15
5	19	22

Fonte: Própria autoria (2019).

Ao analisarmos os resultados da contagem de plantas, visualmente, pode-se observar que o compartimento 1 (um) em ambas as contagens apresentou os maiores valores, resultados esses esperados para o compartimento com solo em condições de campo (sem adição de lama), enquanto que no solo com rejeito observou-se que o compartimento 3 (três), com 200 g de rejeito, evidenciou o maior número de plantas entre os demais compartimentos com a lama.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A umidade do solo associado ao processo de revolvimento para aerar e expor o sistema a temperaturas ideais foram os principais responsáveis pela elevada biodegradação do rejeito de lama adicionado nos compartimentos do biorreator, proporcionando um ambiente favorável para a alta atividade microbiana. A homogeneização do solo não apresentou diferenças significativas da umidade entre os pontos estudados.

O teste de infiltração de água do solo serviu para verificar o tempo necessário para saturação do solo, tendo quatro dos cinco dos compartimentos estudados atingido sua capacidade máxima de infiltração ou saturação.

A realização da análise da DQO apresentou resultados promissores, considerando o tempo de tratamento e a remoção de contaminantes provenientes da atividade microbiana no processo de biorremediação *Landfarming*. Houve significativa redução da DQO na água coletada da primeira para segunda análise.

Quanto ao aparecimento natural de plantas espontâneas o solo apresentou sinais de recuperação com o surgimento de algumas plantas herbáceas e gramíneas, tanto no compartimento sem adição da lama quanto nos compartimentos com a adição. Podendo-se afirmar que a técnica de biorremediação *Landfarming* pode ser uma alternativa viável no tratamento da lama de rejeito do corte de granito com a utilização do solo para fins agrícolas, mesmo sabendo que outros estudos deverão ser realizados para uma maior confirmação dos resultados.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ALENCAR, C. R. A; CARANASSIOS, A; CARVALHO, D. **Tecnologia de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais**. Instituto Euvaldo Lodi, v. 3, 225 p. Estudo econômico sobre rochas ornamentais. Fortaleza – CE, 1996.
- BOOPATHY, R. Factors limiting bioremediation technologies. *Bioresource Technology*, p. 63-67, 2002.
- BOOPATHY, R. Fatores limitantes para a tecnologia de biorremediação. *Bioresource Technology*, v. 74, p. 64-67, 2000.
- BRAGA, F. S. et al. **Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.15, p. 237-244, 2010.
- CALMON, J. L.; SILVA, S. A. C. **Mármore e Granito no Espírito Santo: problemas ambientais e soluções**. In: DOMINGUES, ANTÔNIO FÉLIX; BOSON, PATRÍCIA HELENA GAMBOGI; ALÍPAZ, SUZANA. **A gestão de recursos hídricos e a mineração**. Brasília: Agência Nacional de Águas – ANA, Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM, 2006. p. 199-231. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/CatalogoPublicacoes_2006.asp>. Acesso em 24 de abr. de 2019.
- CETEMAG. Centro Tecnológico do Mármore e Granito. Curso de encarregado de serraria, 67 p. Cachoeiro do Itapemirim – ES, 2000.
- ELEUTÉRIO, L. **Diagnóstico da situação ambiental da cabeceira da Bacia do rio Doce, MG, no âmbito das contaminações por metais pesados em sedimentos de fundo**. Dissertação (Mestrado). Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto - MG, 137p., 1997.
- FREIRE, L. C.; QUEIROZ, J. P. C.; CARANASSIOS, A. **Utilização de resíduos oriundos do desdobramento de rochas ornamentais para confecções de blocos paisagísticos**. 2009. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_XVII_jic_2009/Leonardo_Cattabriga_Freire.pdf>. Acesso em 24 abr. de 2019.
- GIACONI, W. J. **Perfil atual da indústria de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim (ES)**. Dissertação (Mestrado em geociências). Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP, 1998.
- GONÇALVES, J. P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos**. Tese (Doutorado). NORIE/UFRGS, 135 p.. Porto Alegre - RS, 2000. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br>>. Acesso em 22 abr. de 2019.
- HAMDI, H.; BENZARTI, S.; MANUSADZIANAS, L.; AOYAMA, I.; JEDIDI, N. Bioaugmentation and bioestimulation effects on PAH dissipation and soil ecotoxicity under controlled conditions. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 39, p. 1926-1935, 2007.
- LIMA, L. M. R. **Aplicação da técnica de biorremediação Landfarming para neutralização de rejeitos descartados em laboratório de pesquisa com**

derivados do petróleo. Projeto de Pesquisa. Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. Edital 01/2018. Centro de Ciências e Tecnologia. UEPB. Campina Grande, PB, 2018.

MONTANI, C. XXVIII RapportoMarmo e Pietrenel Mondo 2017 (XXVIII World Marble and Stones Report 2017). Carrara: Aldus, 2017.

MOURA, W. A.; LEITE, M. B. Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação. **Revista Escolar de Minas**, v. 64, n. 2, p.147-154. Ouro Preto - MG, 2011.

NELLESSEN, J. E.; FLETCHER, J. S. Assesment of published literature on the uptake accumulation and translocation of heavy metals by vascular plants. **Chemosphere**, 27:1669-1680, 1993.

REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; CABEDA, M. S. V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **R. bras. Ci. Solo**, v. 16, p. 289-298. Campinas - SP, 1992.

SANTOS, J.; CAVALCANTE, J. C. F.; SILVA, J. C. A.; LIMA, L. M. R.; LIMA, L. M. R. **Aplicação da técnica de biorremediação Landfarming para remoção de rejeitos oriundos do processo de adsorção de gasolina.** I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade e III Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido: Diálogos entre consumo, desenvolvimento e proteção ambiental. Campina Grande – PB, 2019.

SANTOS, J.G.; SILVA, S.S.F.; NASCIMENTO, N.M.S.; TRAJANO, M.F.; MELLO, V.S. **Caracterização da lama abrasiva gerada nos processos de beneficiamento do granito: um estudo de caso na Granfugi localizado em Campina Grande-PB.** XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, São Paulo - SP, 2010.

SILVA, A. S. **Propriedades físicas e químicas do solo, sistema radicular e profundidade do milho sob diferentes sistemas de manejo na microrregião de Guarabira - PB.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Centro de Ciências Agrárias. Areia – PB, 80 p., 2002.

SILVA, J. C. A. **Infiltração de água no solo como indicador das modificações edáficas pelo sistema de manejo.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Centro de Ciências Agrárias. Areia – PB, 72 p., 2003.

SILVA, W. T. L.; MARTELLI, L. F. A.; ALMEIDA, T. L.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN-NETO, L. **Contaminação do solo: aspectos gerais e contextualização na Química Ambiental.** In: Rosa, A. H.; FRACETO, L. F.; MOSCHINI-CARLOS, V. Meio Ambiente e Sustentabilidade. Bookman, p. 67-87. Porto Alegre - RS, 2012.

SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 7, n. 2, p.191-196. Campina Grande - PB, 2003.

SOUZA, Y. R. **Análise mineralógica do rejeito do corte de granito,** 2018.

TOCCHETO, Marta Regina Lopes. Gerenciamento de resíduos sólidos. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

VIDAL, F. W. H. **A indústria extrativa de rochas ornamentais no Ceará.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral). USP. São Paulo – SP, 1995.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter sido minha âncora nos momentos mais difíceis, por ser meu colo nos momentos de tristeza e aflição. Por ser a força que me faz todos os dias levantar a cabeça e enfrentar os medos e o mundo.

À meus pais, Márcia e Robson, por todo suporte, paciência, amor, puxões de orelha e dedicação. Obrigada por sempre acreditarem no meu potencial. Essa conquista também é de vocês.

À meus avós, Maria Elizabeth (*in memoriam*) e Martinho, obrigada por todo amor, por entender minha ausência quando não podia visitá-los, por todos os ensinamentos, por todos os abraços e beijos e por tanto amor a mim devotado. Essa conquista também é de vocês.

À meu namorado Hélio, que está comigo há 7 anos nessa jornada. Obrigada pela paciência, ajuda, amor e por sempre confiar no meu potencial. Espero poder compartilhar outras conquistas com você.

Aos meus irmãos Camilla, Mayne e Júnior por serem exemplos.

A Tia Bebete (*in memoriam*) por todo amor e carinho de mãe.

Aos meus tios, Júnior, Roberta, Roberto, Edna, Magna, Ana Cristina por terem ajudado na minha formação.

As minhas sobrinhas, Lorena, Mariana e Luiza por serem a luz dos meus dias.

Aos meus colegas de curso, Deoclécio e Yohanna, por sempre me ajudarem nos estudos, por todos os momentos de descontração, confiança e amizade. Obrigada por fazer essa caminhada mais leve.

As minhas amigas Manu e Gabi, que mesmos distantes se fazem presente diariamente em minha vida. Obrigada por todos os conselhos, ombro amigo e risadas.

À minha amiga Litty, 10 anos de amizade, não são 10 dias. Você é minha irmã de alma.

À minha orientadora Lígia Ribeiro, por ter sido uma mãe, ombro amigo, psicóloga nessa selva de pedras que é a Universidade. Obrigada por ter abraçado minha ideia e ter entrado de cabeça nela.

Ao coorientador José Carlos Aguiar, por toda ajuda prestada e paciência.

Aos meus colegas de laboratório, Jucelino e Moabe, por toda a ajuda para confecção desse trabalho.

Aos que compõem a banca examinadora, pela disponibilidade em estarem presentes na apresentação e pela contribuição imprescindível para este trabalho.

À coordenação do curso por sempre nos ajudar e nos apoiar.

À Alisson, secretário da coordenação do curso, por sempre ser prestativo e sempre buscar nos atender da melhor maneira possível.

Aos professores do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da UEPB, por terem transmitido o conhecimento fundamental para a minha formação acadêmica e o fortalecimento do meu caráter.

À EMBRAPA, pelo fornecimento do solo para confeccionar esse trabalho.

À Universidade Estadual da Paraíba por me possibilitar a formação acadêmica necessária para obtenção de um diploma no ensino superior.

À Seu Noé, que sempre nos recebeu com tanta alegria nos portões do CCT. Obrigada por oferecer sorrisos em meio às loucuras da Universidade.

À cantina de Alberes, por sempre entender minha falta de dinheiro e deixar os lanches no "fiado".

Ao pessoal da SUDEMA, Núcleo Regional de Campina Grande, obrigado por todo aprendizado.

À D'Copy, por sempre emprestar a calculadora e oferecer as melhores

impressões. Igor, obrigada por toda paciência.

E por fim a todos que me ajudaram, diretamente ou indiretamente, nessa conquista.