



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS AGROINDUSTRIAIS**

LUIZ FERNANDO DE OLIVEIRA COELHO

**POTENCIAL DO CAULIM EM FILTROS TIPO CYNAMOM PARA O
TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LATICÍNIOS**

POMBAL-PB
2019

LUIZ FERNANDO DE OLIVEIRA COELHO

**POTENCIAL DO CAULIM EM FILTROS TIPO CYNAMOM PARA O
TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LATICÍNIOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais *Stricto Sensu* da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, *Campus de Pombal*, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sistemas Agroindustriais.

Orientador:
Prof. D.sc. José Cleidimário de Araújo Leite

POMBAL-PB
2019

“Os homens não têm mais tempo de conhecer coisa alguma. Compram tudo feitinho nas lojas. Mas como não existem lojas de amigos, os homens não têm mais amigos”

Saint-Exupéry, A. de. O pequeno príncipe, p. 70.

“A obtenção de resultados em Saneamento depende às vezes da observância de detalhes mínimos, ou a inobservância de detalhes mínimos põe a perder grandes investimentos”

Prof. Dsc. Szachna Eliaz Cynamon, Saneamento - Subsídios para um instrumental de análise. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 8., 1975, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: ABES, 1975. (mimeo), 7 p

C672p Coelho, Luiz Fernando de Oliveira.
Potencial do caulim em filtros tipo Cynamon para o tratamento de efluentes de laticínios / Luiz Fernando de Oliveira Coelho. – Pombal, 2019.
65 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2019.
"Orientação: Prof. Dr. José Cleidimário de Araújo Leite".
Referências.

1. Tratamento de efluentes. 2. Filtro anaeróbio. 3. Passivo ambiental.
4. Impacto ambiental. I. Leite, José Cleidimário de Araújo. II. Título.

CDU 628.3(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar



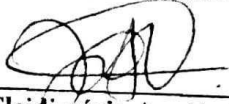
CAMPUS DE POMBAL

"POTENCIAL DO CAULIM EM FILTROS TIPO CYNAMON PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LATICÍNIOS"


Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Pombal-PB, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Mestre (M. Sc.) em Sistemas Agroindustriais.

Aprovada em 06/09/2019

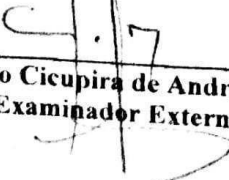
COMISSÃO EXAMINADORA



José Cleidimário Araújo Leite
Orientador



Sthélio Braga da Fonseca
Examinador Interno



Francisco Cicupira de Andrade Filho
Examinador Externo

POMBAL-PB
2019

AGRADECIMENTOS

Ao Deus da Vida, que é Pai e Mãe, por ter me dado o Dom da vida, me guiado e protegido principalmente de minhas vontades e achismos.

A minha mãe, Maria das Neves de Oliveira, por ter assumido a maternidade devoção diária, sem falhar um só dia, garantindo a minha existência nesse mundo e a minha formação moral e formal.

Ao meu pai, Luiz Coelho da Silva (*in memoriam*), por nosso encontro de alma, nosso papo e risos que continuarão quando meus olhos aqui cerrarem em definitivo.

A minha esposa, Andréa Maria Brandão Mendes de Oliveira, por ter entrelaçado sua mão na minha e nestes dez anos me ajudou a melhorar como homem e me tornou milionário ao me permitir a paternidade.

Aos meus filhos, meus batutinhas, minha turminha, Maria Luiza Mendes de Oliveira e Matheus (Fernão) Mendes de Oliveira, vocês são o ar que respiro, presentes de Deus, minha doce responsabilidade. O perfume da vida de vocês me rejuvenesce e me tornou um homem feliz.

A minha família por toda nossa história troncha, louca, disforme, mas junta e com muitas lembranças, vivencia importante na minha construção.

Aos meus amigos confidentes, aqueles com quem divido as alegrias e angustias da vida, meu obrigado e meu amor fraterno.

Ao meu orientador, Professor Dsc. José Cleidimário de Araújo Leite, pelo exemplo de vida, de integridade funcional e acadêmica e principalmente pela amizade e orientação que dispensou a minha pessoa. Ao senhor meu sincero apreço.

Aos guerreiros e guerreiras Técnicos do CCTA que comigo dividem a honrosa missão de servir ao Estado brasileiro meu agradecimento pelas amizades, pelo apoio moral, técnico e científico. Esse trabalho chegou a bom termo porque vários puseram as mãos na massa para viabilizar os resultados, sem demérito dos demais, permitam citar alguns: Tiago Augusto de Lima Cardoso, Franciezer Vicente de Lima, Eudes e Jeanne Freire de Medeiros. Nesse grupo deve-se inserir aos membros de apoio: Lucy, Sebastião, Manoel e outros que me socorrem em diversos momentos.

Aos parceiros fraternos e doutos magistrats, Sthelio Braga da Fonseca e Saul Barbosa Guedes pela amizade, consideração, que muito me honra, e pela partilha de conhecimento a minha eterna gratidão. Tivesse eu, o talento e intelecto de vocês e pusesse a termo tudo que foi ensinado teria saído da defesa doutor.

Agradeço aos colegas Lucas Gomes de Medeiros e Karen Judite de Carvalho Barbosa pela ajuda no momento decisivo dos trabalhos

Aos Professores do PPGSA com especial deferimento a pessoa do Professor Patrício Borges Maracajá pela amizade e parceria.

Aos meus Professores do Bacharelado de Direito (UFCG/CCJS) meu muito obrigado pela compreensão, especialmente neste ano de 2019.

A Rafameia do curso de Direito, minha ilustre turma de 2016.1 que nunca me faltaram, suprimindo minhas deficiências e ausências, em especial.

Por fim agradeço a todos que direta ou indiretamente colaboraram para o sucesso dessa empreitada. Muito obrigado! Paz e bem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Classificação das indústrias extrativas no Brasil conforme CNAE 2.0	17
Figura 2 - Classificação CNAE: beneficiamento e extração do caulim	17
Figura 03 - Estrutura comum da culinita	22
Figura 04 – Caulim	23
Figura 05 -Resíduo do beneficiamento do caulim.	24
Figura 06 - Mapa de localização da Província Pegmatítica da Borborema-Paraíba e Rio Grande do Norte	25
Figura 07 - Volume dos produtos lácteos importados pelo Brasil, mil toneladas, 2014/2016	30
Figura 08 - Quantidade de leite cru refrigerado produzido e comercializado pelo produtores nas macrorregiões brasileiras (em 1.000 litros)	30
Figura 09 - Esquema de filtro anaeróbio empregado no tratamento de efluentes líquidos	32
Figura 10 - Características dos filtros anaeróbios de diferentes sentidos de fluxo	34
Figura 11- Materiais alternativos para leito filtrante	36
Figura 12 – Filtro anaeróbico em série tipo Cynamon, 1986	38
Figura 13 - Medidores de Turbidez, Cor e pH	40
Figura 14 - Esquema da análise de Sólidos Sedimentáveis	42
Figura 15 - Equipamentos	46
Figura 16 - Série de filtros anaeróbios em escala de bancada	48
Figura 17 - Presença de material flutuante no filtro (A) e no Cone Imhoff (B).	48
Figura 18 - Caixa de distribuição obstruída por material flutuante.	49
Figura 19 - Detalhe da caixa de distribuição.	49
Figura 20 - Granulometria do caulim	52
Figura 21 - Preparo de corpo de prova	53

Figura 22 - Corpos Argila-Caulim ataque solução NaCl e H ₂ SO ₄	55
Figura 23 - Corpos Cimento-Caulim após teste com H ₂ SO ₄	56
Figura 24 - Corpos Amido-Caulim ataque solução NaCl e H ₂ SO ₄ .	56
Figura 25 - Corpos Cal-Caulim após queima a 700°C	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Temperaturas dos tratamentos térmicos	45
Tabela 02 - Resultados das análises físicas e químicas no efluente	50
Tabela 03 – Densidade aparente do caulim	51
Tabela 04 - Avaliação da adsorção de Na ⁺ por Fotometria de Chama	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS
(Ordem Alfabética)

A	Peso da cápsula
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ag ₂ SO ₄	Sulfato de Prata
B	Peso da cápsula com resíduo após secagem
C	Contribuição de despejo
Cp	Peso da cápsula com resíduo após ignição
CCTA	Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar
CE	Condutividade elétrica
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO _{5,20}	Demanda Bioquímica de Oxigênio de 5 dias a 20°C
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ENSP	Escola Nacional de Saúde Pública
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
FIOCRUZ	Fundação Oswaldo Cruz
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
K ₂ Cr ₂ O ₇	Dicromato de Potássio
NBR	Norma Brasileira de Referência
pH	Potencial Hidrogeniônico
PVC	Policloroeteno
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Geral	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 A indústria da Mineração	16
3.2 Minerais na Paraíba	17
3.3 Argilominerais	21
3.4 Caulim	23
3.5 Propriedades químicas do Caulim	27
3.6 Agroindústria de Laticínios	28
3.7 Filtros anaeróbios	32
4. MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1 Confecção dos Filtros anaeróbios em escala de bancada	37
4.2 montagem experimental com efluentes de laticínio	39
4.2.1 Parâmetros físicos e químicos do efluente	39
4.3 Caracterização do Caulim	42
4.3.1 Caracterização das amostras de caulim	42
4.3.1.1 Caracterização física	42
4.3.2 Formulação da pasta de caulim	45
4.3.2.1 Teste de resistência da pasta de caulim	45
4.3.2.1.1 Teste de resistência simples	45
4.3.2.1.2 Teste de resistência - ácidos	46
4.4 Testes adsortivos para remoção do íon sódio	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1. Filtros tipo Cynamon	47
5.2. Análise Química e Física do Caulim	51
5.2.1. Densidade aparente (ρ_{aparente})	51
5.2.2. Teor de Umidade e teor de cinzas	52
5.2.3 Teste de Granulometria	52
5.3 Peças de Caulim+Aglomerantes	53
5.3.1. Corpos de Prova	53
5.4 Teste adsortivo do caulim no íon sódio	54
5.4.2 Teste de Resistência Física	55
5.4.3 Teste de Resistência a ataque químico	55
6. CONCLUSÕES	58
7. REFERÊNCIAS	59

RESUMO

A utilização de materiais ambiental e socialmente adequados para resolução de problemas da sociedade é imperativa nos tempos atuais. A mineração e a indústria de leite possuem passivos ambientais relevantes, de forma que a utilização do rejeito de um para equalização do rejeito do outro está em total sintonia com a ética verde. Nesta ótica, este trabalho objetiva estudar a viabilidade econômica e ambiental do aproveitamento de rejeito de extração de caulim como substratos de filtros anaeróbios tipo Cynamon, em substituição ao uso da brita n. 4, aplicado ao tratamento de efluentes de laticínios. Para isto, dentre outros procedimentos, foi construído filtros Cynamon com tubos PVC com brita n.4 e verificado sua eficiência em efluentes de laticínios e construídos corpos de prova com o caulim e verificado suas propriedades, dentre elas a saber sua resistência a ataques químico com ácido sulfúrico, simulando condições reais. Por fim, foi possível concluir que tanto os filtros Cynamon como a substituição da brita por caulim-aglomerante são viáveis para o tratamento de efluentes da agroindústria de laticínios.

Palavras-chave: filtro anaeróbio, passivo ambiental, impacto ambiental.

ABSTRACT

The use of environmentally and socially appropriate materials for solving societal problems is imperative in present times. Mining and the dairy industry have relevant environmental liabilities, so the use of one tailings for the other's tailings is fully in line with green ethics. From this point of view, this work aims to study the economic and environmental viability of using kaolin extraction tailings as Cynamon anaerobic filter substrates, replacing the use of gravel n. 4, applied to the treatment of dairy effluents. For this, among other procedures, was constructed Cynamon filters with PVC pipes with gravel n.4 and verified its efficiency in dairy effluents and built specimens with kaolin and verified its properties, among them its resistance to attacks. chemical with sulfuric acid, simulating real conditions. Finally, it was possible to conclude that both Cynamon filters and gravel replacement by kaolin-agglomerate are viable for the treatment of dairy agroindustrial effluents.

Keywords: anaerobic filter, environmental passive, environmental impact.

1 INTRODUÇÃO

A industrialização em sua marcha contínua de crescimento exerce pressões sobre o meio ambiente que na atualidade são praticamente insustentáveis aos biomas. Segundo Achim Steiner, Subsecretário-Geral da ONU (2018), mantendo-se o atual padrão de consumo, a humanidade precisará de 02 (dois) planetas Terra para sustentar-se em 2030.

Na complexa matriz de produção, destaca-se a indústria de mineração e de produtos lácteos, como representantes do setor cujo modo de produção impacta significativamente a oferta de água, a conservação dos biomas e a disponibilidade de áreas para atividades agroindustriais.

O setor de mineração responde por 1,4% do Produto Interno Bruto (PIB) e mais de 2 milhões de empregos diretos e indiretos (IBRAM, 2018). Dados dos anos de 2017 e 2018 externaram que o setor gerou 403 e 409 milhões de toneladas de bens minerais e representaram em dólares, US\$ FOB 28,3 bilhões e US\$ FOB 29,9 bilhões, respectivamente. Desse montante, destaca-se o Caulim como responsável por 1% nos dois anos, cerca de US\$ 283 milhões e US\$ 299 milhões em cada ano (IBRAM, 2018 e 2019).

As reservas mundiais de caulim são abundantes e de ampla distribuição geográfica. Apenas quatro países detêm 95% de um total de 15 bilhões de toneladas: Estados Unidos (53%), Brasil (28%), Ucrânia (7%) e Índia (7%). Esse mineral possui fascínio pela particularidade de seu rejeito apresentar propriedades úteis à indústria, de forma que seu descarte em forma de pilhas gera duplo impacto, a saber: o econômico e o ambiental, uma vez que sua disposição simples no ambiente contamina o solo, a água e o ar, e o gerenciamento adequado é dispendioso, por fim perdem-se potenciais usos, como a produção de adsorventes, como sugerido por Matos & Hildebrando (2016).

Ao se considerar o passivo ambiental do setor de mineração e necessidade de adequações sanitárias e ambientais que sejam viáveis para os arranjos agroindustriais, especificamente os pequenos produtores. Uma possibilidade é o aproveitamento do rejeito da mineração em benefício da indústria de laticínios e em se tratando de unidades rurais das famílias neles envolvidas, dado que em muitos casos os domicílios são próximos ou conjugados a unidade fabril.

O saneamento rural é uma área que pode se beneficiar desse processo de aproveitamento de resíduos. O tratamento de efluente com filtros anaeróbios, por exemplo, é uma tecnologia bem dominada e disseminada por órgãos como a Emater/RS (2018) e por governos como o Governo do Distrito Federal (2017).

Dentro do rol de tipos de filtros disponíveis e de formas de uso descritos na literatura técnica está a ETE tipo Cynamon, proposto pelo Prof. Dsc Szachana Eliaz Cynamon (*in memoriam*) em 1980 (CYNAMON, 2003), cujo coração é composto de uma série de três filtros - anaeróbio-aeróbio-anaeróbio. Essa pesquisa, como pontua Roque e Mello Junior (1999), estava dentro de um arcabouço científico que no Brasil testava outras variações dos filtros anaeróbicos. Os pesquisadores relatam que notadamente o filtro tipo Cynamon encontra-se instalado aparentemente apenas no Estado do Rio de Janeiro, onde localizaram 33 unidades, tratando efluente doméstico, comercial e da indústria de pescado.

Na busca pela adequação da técnica de Cynamon à região e torná-la o mais sustentável possível é que se dá o encontro com exploração do caulim no intuito de aproveitar seu rejeito para o necessário tratamento dos efluentes de indústrias de laticínios e das residências rurais, de forma a colaborar com a melhoria dos índices de saneamento ambiental e de saúde pública, além de favorecer os aspectos sanitários.

O aproveitamento do resíduo de caulim como meio filtrante em substituição à a brita n. 4 pode vir a favorecer o uso dos filtros anaeróbios na agroindústria e nas moradias rurais.

2 OBJETIVOS

2.1. Geral

Estudar a viabilidade econômica e ambiental de resíduo de beneficiamento de caulim como meio filtrante em filtros tipo Cynamon para o tratamento de efluentes da agroindústria de laticínios.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A indústria da Mineração

O uso de minérios pela humanidade data de milênios. O homem encontrou na manipulação dos recursos minerais a possibilidade de fazer desde elementos para ornamentação, ferramentas, equipamentos, máquinas até aparatos militares.

“A mineração é uma atividade essencial à vida de todos os seres humanos, afinal, vários bens materiais que possuímos atualmente só existem porque foram extraídos da terra. Existem diversos tipos de minerais, e cada um com a sua peculiaridade, podemos citar os silicatos, carbonatos, os metais e diversos outros, do qual através deles podemos auxiliar a indústria de computadores, tablets, celulares, com isolamento acústico, material cerâmico, revestimento de aços, e várias outras aplicações” (JESUS, SANTOS e FREIRE, 2016). É insumo de primeira necessidade para manutenção das sociedades, principalmente aquelas assentadas sobre o avanço tecnológico, cujo aumento dos grupos humanos exacerbou a exploração desses recursos de forma exponencial.

No Brasil, a indústria de mineração responde por 1,4% do PIB brasileiro e emprega cerca de 195 mil trabalhadores diretos, segundo o IBGE (IBRAM, 2019).

A Indústria Extrativa Mineral engloba atividades econômicas com características bastante distintas, sendo uma forma de classificá-la, o agrupamento por atividade que no Brasil é realizado pela Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), versão 2.0, classificação que norteia as pesquisas setoriais e demais pesquisas do IBGE (IBRAM, 2015), como visto na Figura 01.

Figura 01 - Classificação das indústrias extrativas no Brasil conforme CNAE 2.0.



Fonte: CNAE 2.0. Elaboração FGV/IBRE com dados do IBGE (20??)

A atividade de extração do Caulim é classificada hierarquicamente dentro das atividades extrativistas pelo CNAE conforme a Figura 02.

Figura 02 - Classificação CNAE: beneficiamento e extração do caulim

Hierarquia	
Seção:	B INDÚSTRIAS EXTRATIVAS
Divisão:	08 EXTRAÇÃO DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS
Grupo:	08.1 Extração de pedra, areia e argila
Classe:	08.10-0 Extração de pedra, areia e argila
Subclasse:	0810-0/10 Beneficiamento de gesso e caulim associado à extração

Fonte: concla.ibge.gov.br (20??)

Dessa classificação, decorrem todas as estatísticas para o setor extrativista como também uma série de inter-relações legislativas aplicáveis nele, incluindo as de segurança ambiental e trabalhista.

3.2 Minerais na Paraíba

Segundo o IBRAM (2018), a Paraíba revela uma gama de minérios espalhados em 98% do território do estado. “São rochas ornamentais, quartzitos, bentonitas, feldspatos, caulim, argilas e granitos explorados de forma comercial e que escoam principalmente para a construção civil, indústria de porcelanato, indústria química e

indústria de extração de petróleo”. O subsolo paraibano é formado em sua maior parte por rochas precambrianas, que cobrem cerca de 80% da área territorial do estado.

Esse substrato precambriano está incluído na Província Borborema, de idade meso a neoproterozoica, representada no Estado pelos seguintes domínios geotectônicos: subprovíncia Rio Grande do Norte, que inclui os terrenos Granjeiro, Rio Piranhas e São José do Campestre e a faixa Seridó; subprovíncia Transversal, onde se reconhece a faixa Piancó-Alto Brígida e os terrenos Alto Pajeú, Alto Moxotó e Rio Capibaribe; e uma pequena porção da faixa Orós-Jaguaribe. Zonas de cisalhamento, principalmente de idade neoproterozoica, separam esses domínios tectonoestratigráficos e constituem as principais feições geotectônicas do Estado. A subprovíncia Rio Grande do Norte e a faixa Orós-Jaguaribe documentam a parte mais antiga da história precambriana, envolvendo um substrato de idade paleoproterozoica e uma faixa metassedimentar plataformar à turbidítica, de idade neoproterozóica (CPRM, 2002. p. 11).

O Brasiliano (0,65-0,57Ga) é o principal evento tectonometamórfico desta porção, afetando tanto o embasamento quanto a cobertura metamórfica, e originando uma intensa atividade granítica. A subprovíncia Transversal é dominada por terrenos e faixas dos ciclos Cariris Velhos (1,1 Ga-0,95 Ga) e Brasiliano (0,65 Ga-0,57 Ga), os quais culminaram com dois eventos orogênicos sucessivos, gerando um complexo sistema de *fold-thrust belts* e rede de zonas de cisalhamento transcorrentes associados a um extraordinário plutonismo granítico. Os 20% restantes do Estado são representados por uma pequena fração da bacia do Araripe, pelas bacias do Rio do Peixe e Pernambuco-Paraíba, de idade cretácea e ligadas à evolução Atlântica da plataforma sulamericana, e por coberturas paleógena-neógenas continentais. (CPRM, 2002. p. 11).

Segundo Jesus et al. (2016), dentre os recursos minerais da Paraíba classificados pelo critério utilitário da substância de valor econômico, distinguem-se:

- *Metais nobres*: destaca-se o ouro. Os depósitos e garimpos são principalmente do tipo veio de quartzo-ouro-sulfeto. Na Faixa do Seridó, o ouro ocorre associado a sulfetos em zonas onde há concentração de quartzo e quartzo-granada, relativa a processos de alteração hidrotermais, incluindo cloritização, carbonatação, serpentinização, sericitização, silicificação e turmalinização. Na Faixa Piancó Alto Brígida, os filões de

quartzo-auríferos estão relacionados a grandes lineamentos. Também é citada a ocorrência de metal no Alto Pajeú.

- *Substâncias metálicas:* destaca-se o Titânio-Zircônio e o Tungstênio. Os jazimentos aparecem em plácers ricos em ilmenita e zirconita, além do rutilo e outros minerais, no litoral norte da Paraíba. Já o Tungstênio, apresenta a mineralização dos jazimentos do tipo scheelita em skarn, associados a calcários cristalinos, situada no Domínio Rio Grande do Norte, que englobam a Faixa Seridó e frações dos terrenos São José do Campestre, Rio Piranhas e Granjeiro. Há ocorrência de outras substâncias metálicas na região e indícios de Terras Raras foram encontrados no depósito uranífero de Espinharas. Considerando a importância atual dos chamados ‘metais de alta tecnologia’, essas ocorrências devem ser prospectadas como fontes futuras desses elementos. As ocorrências de ferro são representativas e estão associadas a rochas básicas, com hematita, magnetita, grunnerita e quartzo; ao manganês, com aspecto bandado e associação mineralógica formada por hematita, psilomelano, pirolusita e quartzo; e a blocos lateríticos de tamanhos variados no Junco do Seridó, com uma associação de óxido de ferro e seixos de quartzo angulosos. Em 2002, na região de Queimadas, havia três ocorrências de ferro-titânio cadastradas. As mineralizações de cobre estudadas ocorrem como filões de quartzo e são representadas pela calcopirita e malaquita, normalmente em paragênese com pirita e quartzo. As mineralizações de chumbo ocorrem na forma de filões de quartzo com galena e estão relacionadas a eventos hidrotermais em zonas de cisalhamento. A ocorrência de níquel foi identificada encontrando-se na estrutura de silicatos e óxidos, sendo observadas pequenas quantidades de pirrotita, pentlandita e nicolita. As concentrações ocorrem principalmente de forma que os minerais do grupo das garnieritas preencherão fraturas.
- *Substâncias energéticas:* Destaca-se o Urânio e a Turfa. São conhecidas as ocorrências de urânio de Pocinhos, Cajá, Pilões, Barra de Santa Rosa e o depósito de Espinharas, onde há a existência de um enriquecimento em fósforo e terras raras. Em relação à Turfa, duas faixas foram identificadas no vale do rio Mamanguape, cujas características ge-

ológicas e físico-químicas indicaram a viabilidade econômica do depósito, tanto para uso energético, quanto na agricultura, no condicionamento e fertilização de solos.

- *Gemas e Minerais de Pegmatito*: entre os minerais de pegmatitos, é possível citar várias classes, desde gemas (água marinha, turmalina etc.), minerais metálicos (tantalita, columbita e cassiterita) e minerais industriais (quartzo, berilo, micas, feldspato, espodumênio e ambligonita). Nesta última classe, está incluído o caulim, lavrado intensamente, junto com o feldspato, a água marinha e a turmalina Paraíba. Já o Caulim, apresenta ocorrências em depósitos associados a pegmatitos que se localizam nos municípios de Junco do Seridó, Juazeirinho e Pedra Lavrada. A lavra do caulim é feita de forma rudimentar, por meios manuais e, até mesmo, menos comumente, por meio de trabalhos subterrâneos. Sua qualificação industrial é considerada boa, dado o baixo teor de óxido de ferro.
- *substâncias não metálicas (rochas e minerais industriais)*: destaca-se a Bentonita, Calcedônia, Argilas comuns e plásticas, Calcário sedimentar e cristalino e Fosforita. As ocorrências e minas de Benonita estão localizadas nos municípios de Boa Vista e Cubati. Os depósitos foram identificados como sendo formados essencialmente por camadas com aproximadamente 10 metros de espessura de argila em cores variadas, com nível de pequena espessura de arenito fino argiloso ou silicático. Geralmente, ocorrem níveis de calcedônia ou sílex, com madeira silicificada e ocasionalmente fósseis. Em 2014, o estado deteve 60% da produção interna desse bem mineral. Já a mina de Vermiculita, está situada no município de Santa Luzia, fazendo com que o estado se destaque com 19% das reservas brasileiras (DNPM, 2015). O minério ocorre em bolsões de espessuras variáveis, como finas palhetas no seio desses bolsões, enquanto que a produção de Argilas Comuns e Plásticas é destinada principalmente à cerâmica vermelha, com exceções que são utilizadas nas indústrias de azulejos, louças sanitárias e isolantes elétricos. Os garimpos e depósitos encontram-se ao longo dos aluviões dos principais rios e riachos da rede hidrográfica do estado e próximos a grandes centros consumidores. Já os calcários sedi-

mentares, ocorrem na faixa litorânea de Alhandra, Caaporã, Conde e João Pessoa. São calcários fossilíferos, com coloração creme e granulometria fina, cinza escura na superfície e intercalações margosas. O calcário cristalino foi identificado em quase todos os municípios do estado, ocorrendo sob a forma de lentes com extensão e espessura variadas. Possuem cores claras variadas, granulometria de fina à grossa, e composição calcítica até magnesiana. E, por fim, as ocorrências de fosforita identificadas estão localizadas na faixa litorânea do estado, principalmente ao sul do rio Mamanguape até o limite Paraíba-Pernambuco. Os teores variam de 5% a 10% de óxido de fósforo.

- *rochas ornamentais*: são considerados como granitos ornamentais pela indústria da construção civil todas as rochas graníticas propriamente ditas, como os granitos, álcali-granitos, monzonitos e rochas sem qualquer afinidade com os granitos, como brechas tectônicas, metaconglomerados, basaltos, gabros e etc.
- *água mineral*, com destaque absoluto para os minerais não metálicos ou industriais: existem vários locais de exploração de aquífero com padrões de água mineral, que se destacam no município de Santa Rita e no trecho da BR-230 de Campina Grande a João Pessoa.

Devido à pesquisa ter seu foco no caulim, apenas esse mineral será apresentado detalhadamente.

3.3 Argilominerais

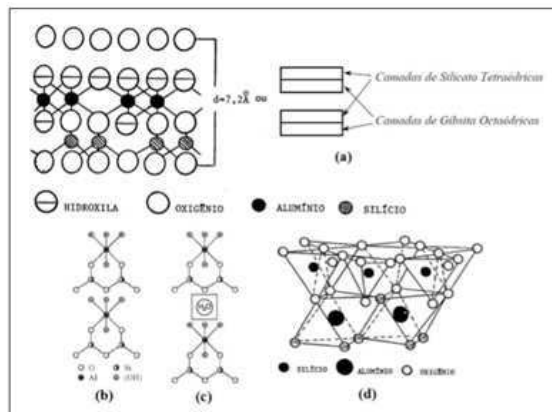
Os argilominerais são formados por folhas de tetraedros de silício e oxigênio e folhas de octaedros de alumínio e oxidrilas, ambas em arranjo hexagonal. Os átomos de oxigênio ficam dispostos em volta dos átomos de silício, em ligação covalente, o mesmo acontecendo com as oxidrilas e os átomos de alumínio. No caso dos tetraedros, o Si pode ser substituído isomorficamente por Al^{3+} , Fe^{2+} e Fe^{3+} . Nos octaedros pode ocorrer a substituição isomórfica do Al^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Ti^{4+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Li^{1+} , Mg^{2+} .

A caulinita possui estrutura lamelar formada pelo empilhamento regular de camadas 1:1, em que cada camada consiste de uma folha de tetraedros de Si e oxi-

gênio e uma folha de octaedros de gipsita, com espaçamento basal de aproximadamente 7,0 Å, de fórmula mineralógica $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

A estrutura mais comum da caulinita é mostrada na Figura 03. Entretanto, na sua composição, também podem estar presentes mais de um tipo de estrutura de silicato de alumínio hidratado, tais como: haloisita, nacrita e dicrita. A haloisita tem uma estrutura cristalina semelhante à da caulinita, mas as camadas sucessivas estão deslocadas de frações pequenas das dimensões da célula unitária, mais ou menos ao acaso, ao longo das direções horizontais dos eixos a e b. Existem duas formas de haloisita: uma forma de maior hidratação, em que uma camada monomolecular de água separa as camadas estruturais, e uma forma de menor hidratação, que não possui essa camada de água. Embora com composições químicas muito semelhantes, existe uma diferença na morfologia entre as partículas de caulinita e as de haloisita: a caulinita aparece como partículas lamelares de perfil hexagonal ou irregular, enquanto haloisita pode aparecer como tubos ou cilindros (MENEZES et al., 2007).

Figura 03 – Estrutura comum da caulinita. (a) Estrutura em camadas da argila caulinita; (b) A mesma estrutura mostrada em (a), mas enfatizando as ligações dos íons Al^{3+} (c) Mesmo que (b), mas hidratada; e (d) célula unitária.



Fonte: Gonçalves (2003)

3.4 Caulim

O termo caulim deriva da palavra em chinês *kauling*, que significa “cume alto”, sendo utilizado para denominar a rocha que contém a caulinita e também o produto resultante de seu beneficiamento.

O caulim é uma rocha constituída de material argiloso, com baixo teor de ferro e cor branca, como ilustra a Figura 04. É um material formado por silicatos de alumínio hidratado, cuja composição química aproxima-se de $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, sendo a caulinita e a haloisita seus minerais predominantes. Também podem ocorrer os minerais do grupo caulinita: diquita, nacrita, folerita, anauxita, colirita e tuesita. O caulim pode conter outros elementos como impurezas, as quais podem atingir de 40% a 70% em volume do material extraído, sendo constituídas, de um modo geral, por areia, quartzo, palhetas de mica, grãos de feldspato, óxidos de ferro e titânio.

Figura 04 - Caulim



Fonte: Disponível em: <http://www.casadorestaurador.com.br/loja/grupo/06.18/restauracao/douracao/produto/C04445124/caulim-1-kg.aspx> Acesso em: 05 de outubro de 2018.

Suas principais aplicações atualmente são como material de enchimento no preparo de papel; como agente de cobertura para papel *couché* e na composição das pastas cerâmicas. Em menor escala, o caulim é usado na fabricação de materiais refratários, plásticos, borrachas, tintas, adesivos, cimentos, inseticidas, pesticidas, produtos alimentares e farmacêuticos, catalisadores, absorventes, dentifrícios, clarificantes, fertilizantes, gesso, auxiliares de filtração, cosméticos, produtos químicos, detergentes e abrasivos, além de cargas e enchimentos para diversas finalidades (DNPM, 2018).

O caulim é retirado da natureza de extração e ocorre associado a várias impurezas, não atendendo, dessa forma, às especificações de mercado. As impurezas, como óxidos de ferro e titânio, mica e feldspato, influenciam diretamente na cor e

alvura do caulim, comprometendo sua qualidade (LUZ e DAMASCENO, 1993). Para promover o seu melhor aproveitamento, é necessário realizar operações de beneficiamento, as quais vão depender do uso a que se destina. Existem dois processos de beneficiamento: via seca e via úmida. Como a maioria dos caulins não possui as características do beneficiamento por via seca, predomina o beneficiamento por via úmida (RODRIGUES, 2009).

Na etapa de beneficiamento os principais problemas estão ligados à quantidade de resíduo gerado, cerca de 70% do caulim extraído, e à poluição do ar. Os resíduos gerados nessa etapa são simplesmente descartados em terrenos das empresas de beneficiamento, ocupando assim um grande volume. Como a disposição dos resíduos não é feita de forma ambientalmente adequada, observa-se que eles, depois de secos, se transformam em pó, e pela ação do vento, se espalham, poluindo o ar e a vegetação no entorno, como pode ser visto a Figura 05.

Figura 05 - Resíduo do beneficiamento do caulim.



Fonte: Disponível: <<http://informatividade10.blogspot.com.br/2009/11/producao-de-caulim-na-paraiba.html>> Acesso em: 05 de outubro de 2018

O caulim tem muitas aplicações industriais e novos usos estão constantemente sendo pesquisados e desenvolvidos. É um mineral industrial de características especiais, porque é quimicamente inerte dentro de uma ampla faixa de pH; tem cor branca; apresenta ótimo poder de cobertura quando usado como pigmento ou como extensor em aplicações de cobertura e carga; é macio e pouco abrasivo; possui baixas condutividades de calor e eletricidade; e seu custo é mais baixo que a maioria dos materiais concorrentes.

O rendimento do caulim, no seu processo de produção, é relativamente baixo, cerca de 25%, ou seja, a cada tonelada de caulim que passa pelo processo de bene-

ficiamento, é gerado 750 kg de resíduo, e apenas 250 kg de caulim é aproveitado para comercialização.

Alguns artigos já evidenciam a utilização do resíduo de caulim, até então descartado, como matéria-prima para a produção de diversos produtos da construção civil. Em estudos prévios o material foi utilizado satisfatoriamente na produção de argamassas de cal para restauração (AZEREDO et al., 2014), concretos asfálticos (INGUZA et al., 2014), blocos de solo-cal (ANJOS e NEVES, 2011) e blocos para alvenaria de vedação (RESENDE et al., 2008).

O solo-cimento é obtido pela mistura de solo, cimento Portland e água. Envolve um processo físico-mecânico de estabilização, no qual as consequências decorrem de uma estruturação resultante da reorientação das partículas sólidas do solo com a deposição de substâncias cimentantes nos contatos intragranulares, alterando a qualidade relativa de cada uma das três fases-sólidas, água e ar que constituem o solo (MERCADO, 1990). No Brasil, as pesquisas com solo-cimento começaram a ganhar destaque a partir da década de 1930, com a regulamentação de sua aplicação pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Em 1941, a pavimentação do aeroporto de Petrolina-PE foi feita com solo-cimento e em 1970, a rede pavimentada de solo-cimento no Brasil completou 7.500 km. A partir de 1948, o solo-cimento passou a ser utilizado também na construção de habitações, com a construção de duas casas do Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis-RJ.

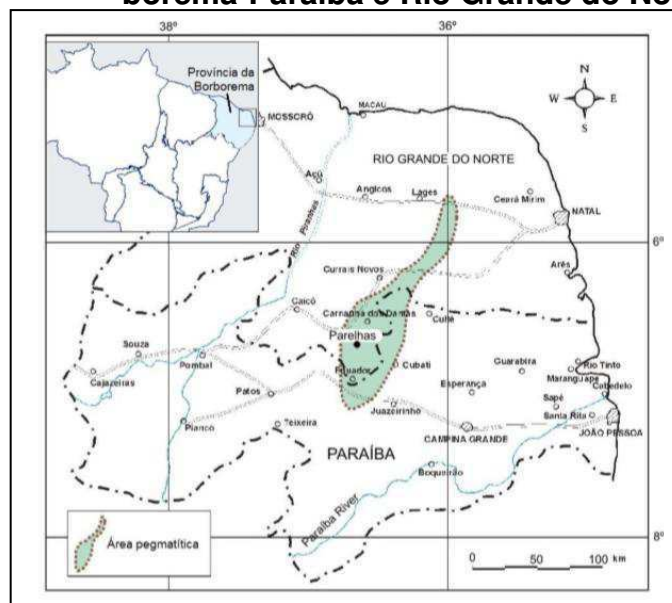
A valorização do rejeito oriundo do beneficiamento de caulim como a utilização de resíduos minerais é importante tanto do ponto de vista social e ambiental, quanto do técnico e econômico, uma vez que proporciona: um uso eficiente dos recursos; valorização do resíduo; geração de novos empregos; redução dos custos com o seu descarte e redução dos impactos ambientais. E como o caulim é um dos argilominerais que vêm ganhando destaque no cenário nacional e o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de argilominerais, é interessante estudar essa característica do rejeito do caulim, bem como suas aplicações.

Inúmeras pesquisas são atualmente desenvolvidas pela ciência de novos materiais com o objetivo de criar materiais capazes de atuar com grande eficácia em processos adsorptivos e catalíticos (STRAWN et al., 1999; FROST et al., 1999; VENEZUELA & SANTOS, 2001; SANTOS et al., 2002). Entre os materiais mais pesquisados, estão as estruturas lamelares sintéticas e naturais como a esmectita, talco,

zeolitas, magadeita e kanemita. Um grande trunfo para a ciência dos materiais está no fato da obtenção de superfícies com grande capacidade reativa, a partir de materiais naturais como é o caso de argilominerais, usualmente aplicados em processos de modificação química estrutural/e ou superficial, como a montmorilonita em processo de pilarização (GUERRA et al., 2006), caulinita intercalada com uréia (WYPYCH et al., 1999), caulinita modificada com dimetil sulfóxido (GUERRA et al., 2006; FROST et al., 1999) e argilominerais organofuncionalizados com a imobilização de silanos que possuem grupos funcionais básicos, ancorados em sua superfície (LAZARIN & AIROLDI, 2006).

As regiões da Borborema e Sertão da Paraíba possuem um potencial mineralógico elevado. Na verdade, o “mapa do tesouro” da Paraíba revela uma gama de minérios espalhados em 98% do território do estado. São rochas ornamentais, quartzitos, bentonitas, feldspatos, caulim, argilas e granitos explorados de forma comercial e que escoam principalmente para a construção civil, indústria de porcelanato, indústria química e indústria de extração de petróleo (IBRAM, 2010). A localização das formações pegmatíticas na Paraíba e Rio Grande do Norte está apresentada na Figura 06, sob as mesorregiões da Borborema e do Sertão.

Figura 06 - Mapa de localização da Província Pegmatítica da Borborema-Paraíba e Rio Grande do Norte



Fonte: Mapa das províncias geológicas, CPRM (2013)

Essa localização coloca os rejeitos da extração mineral, notadamente o caulim, como um insumo alternativo para resolução de problemas urbanos e rurais. Atualmente, o uso mais difundido é para área da construção civil fazendo parte de tijolos, argamassa e material cerâmico. A importância do aproveitamento desse resíduo é apontado a mais de uma década, a exemplo da fala de MORAES (2007, p. 22-23) que explicitando o rendimento de 25% de matéria-prima na extração de caulim, com conseguintes 75% de resíduos que naquele ano perfaziam cerca de 7.500 (sete mil e quinhentas) toneladas mês de rejeitos produzidos nas indústrias de beneficiamento do Estado do Rio Grande do Norte. Apontava o pesquisador para o aproveitamento desses resíduos na indústria de cerâmica no fabrico de pisos e revestimentos cerâmicos, como sendo uma aplicação racional que traria reflexos econômicos e sociais positivos.

A presença de mica e ferro limita ou impõe condições ao uso do rejeito de caulim em argamassa de revestimento e também em concreto.

O aproveitamento do resíduo da extração de caulim como meio filtrante em substituição à brita e à areia em filtros para tratamento de efluentes poderia vir ser uma contribuição com aspectos positivos na saúde pública e na mitigação de passivos ambientais, impactaria a agroindústria e as comunidades, contribuindo com a elevação do IDH por meio dos indicadores sanitários.

3.5 Propriedades químicas do Caulim

Embora o mineral caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) seja o principal constituinte do caulim, outros elementos além do alumínio, silício, hidrogênio e oxigênio, acham-se geralmente presentes na sua composição. A composição química do caulim é usualmente expressa em termos de óxidos dos vários elementos, embora eles possam estar presentes em forma mais complexa e por vezes desconhecida. Entre as propriedades físicas do caulim, são citadas na literatura principalmente as mencionadas a seguir:

- **Desfloculação:** é o ponto no qual o caulim (na forma de uma barbotina) mais se aproxima de sua viscosidade mínima.
- **Tixotropia:** é o fenômeno de transformação “sol-gel” isoterma reversível, ou seja, quanto mais afastada de sua viscosidade mínima está o

caulim (na forma de barbotina), maior é a tendência de aumentar sua viscosidade com o tempo, podendo, em certos usos, atingir a forma de gel; no entanto, pela agitação, volta ao estado físico inicial;

- Viscosidade: é o tempo, em segundos, para escoar volumes de 200 cm² e 250 cm² de barbotina em viscosímetro de Mariotte;
- Granulometria – é mais grosseira que as dos demais tipos de argila (menos que 0,2 μ);
- Cristalinidade – apresenta lamelas hexagonais bem cristalizadas;
- Densidade real – 2,6 g/cm³ ;
- Ponto de fusão – de 1.650 °C a 1.775 °C;
- Resistência mecânica – baixa, em relação às outras argilas;
- Plasticidade – menos plástico que as demais argilas;
- Morfologia – apresenta partículas lamelares euédricas;
- pH – depende do potencial de troca dos íons e das condições de formação do caulim; é medido com potenciômetro e oscila entre 4,3 e 7,0.
- Alvura – é a propriedade de medida da refletância do caulim, através de aparelhos como o ZE (*Zeiss Elrepho*), o *Photovolt* e o *GE/Reflectometer*;
- Módulo de ruptura: medido em atmosferas a 80% de umidade relativa ;
- Abrasão: propriedade medida em termos de perda de peso, em miligramas.

3.6 Agroindústria de Laticínios

A cadeia produtiva do leite, segundo Montoya e Finamore (2005), é capaz de gerar impactos em diversos setores da economia, devido aos efeitos de encadeamento produtivo, tanto na relação de aquisição de insumos, quanto no fornecimento para as indústrias de beneficiamento. Esse encadeamento demonstra o valor econômico e social do setor, pois sua diversidade congrega empresas de variados portes, indo de micro beneficiador (artesanais) passando por cooperativas até grandes

conglomerados internacionais que impactam o mercado de trabalho de forma positiva: direta e indiretamente.

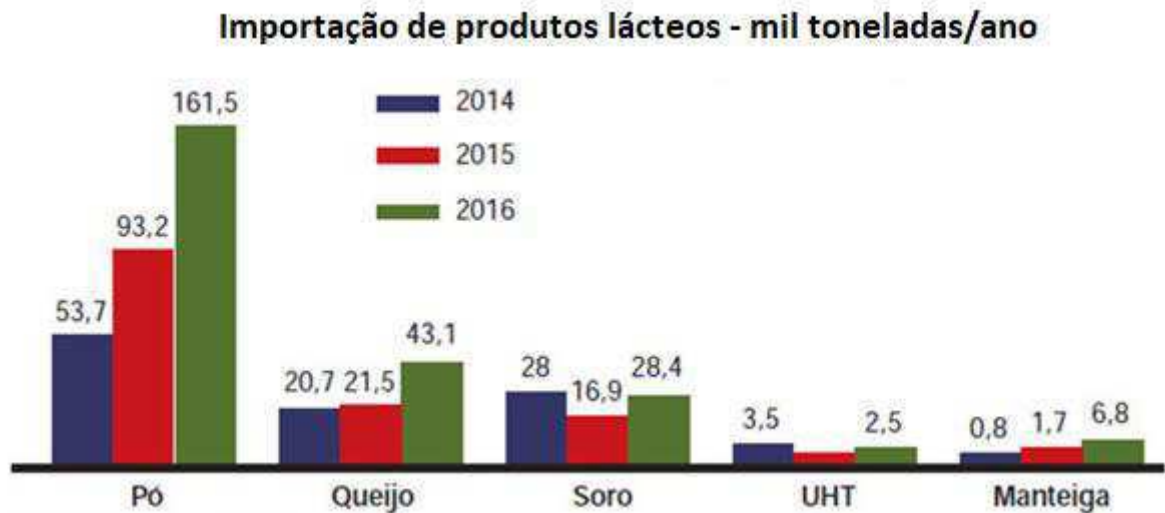
A Embrapa (2017) informou que a produção inspecionada de leite no Brasil voltou a crescer em 2017, depois de dois anos consecutivos de queda. A quantidade de leite cru ou resfriado adquirido pelos laticínios inspecionados foi de 24,333 bilhões de litros, valor 5,03% superior ao registrado em 2016. Os Estados de São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás responderam por 84,02% desse volume, e praticamente todo ele foi processado por apenas 270 laticínios que possuíam capacidade de captação superior a 50 mil litros. Os outros 1.339 estabelecimentos, com capacidade de captação inferior a 10 mil litros, processaram 4,0%.

Segundo Zoccal (2017), a estimativa de produção de leite, em 2016, foi de aproximadamente 35,3 bilhões de litros, produzidos em maior volume na região Sul do País. De acordo com os dados da Pesquisa Trimestral do Leite, do IBGE, o volume captado e processado por indústrias com serviço de inspeção, em 2016, foi 3,7% menor do que em 2015. A captação no período representou 66% da produção total, ou seja, 12 bilhões de litros não passaram pelo serviço de inspeção.

O volume de leite processado no próprio estabelecimento ou vendido ao consumidor na forma fluida ou de derivados é semelhante à produção da Argentina e quatro vezes maior que a produção do Uruguai, que são dois importantes países exportadores de lácteos, inclusive, para o Brasil. O pequeno crescimento da produção e a menor captação de leite refletem na atuação do País no mercado internacional de lácteos, tendo o Brasil fechado os anos de 2016 e 2017 com déficit na balança comercial em US\$ 100 milhões e US\$ 490 milhões, respectivamente (ZOCAL, 2017).

Na Figura 07, evidencia-se que o volume dos produtos lácteos importados pelo Brasil, em tese, poderia ser suprido pela produção interna se a mesma fosse inspecionada.

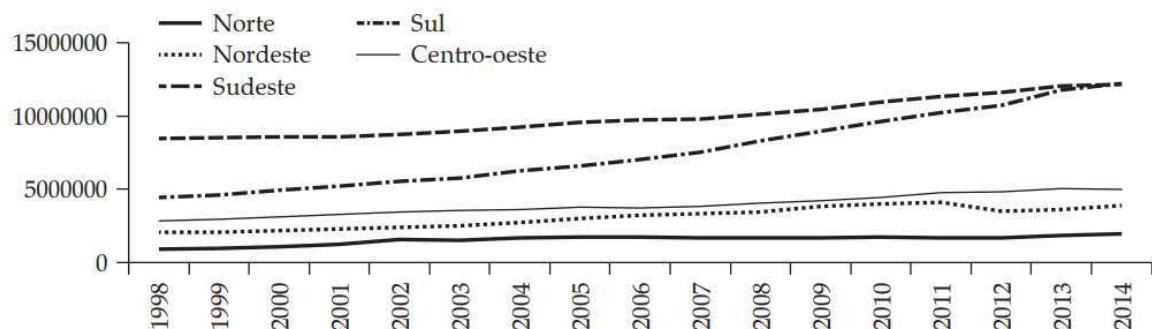
Figura 07 - Volume dos produtos lácteos importados pelo Brasil, mil toneladas, 2014-2016



Fonte: MDIC – aliceweb, 2017

A produção de leite e seu beneficiamento estão distribuídos em todo o Brasil, tendo as regiões sudeste e sul como expoentes, como se pode ver na Figura 08, considerando-se apenas a quantidade de leite cru refrigerado produzido e comercializado por macrorregiões.

Figura 08 - Quantidade de leite cru refrigerado produzido e comercializado pelos produtores nas macrorregiões brasileiras (em 1.000 L)



Fonte: Moares e Bender Filho, 2017.

Moraes e Bender Filho (2017), que citando dados do IBGE do ano de 2015 explicitam que a Região Nordeste possui apenas 11% da produção de leite *in natura*, cerca de 20% das vacas ordenhadas e 1/3 (um terço) dos trabalhadores rurais do País, dando a dimensão do impacto social do setor na Região Nordeste.

ABIA (2019) registrou que em 2018 o setor brasileiro de alimentos faturou R\$ 656 bilhões, cerca de 9,6% do PIB, com base em pesquisa conjuntural de sua auto-

ria. Nessa mesma pesquisa, o setor de laticínios correspondeu a 10,5% do faturamento atrás de proteína animal (22,1%) e bebidas (19,7%).

A Indústria de alimentos processa cerca de 58% da produção agropecuária brasileira, sendo que, para as proteínas animais (bovinos, suínos, aves e leite), esse percentual é de 99% (ABIA, 2019).

Analisando o setor queijeiro, tem-se que, no Brasil, o consumo anual possuía em 2008 uma *per capita* de 2,3 kg (PERRY, 2004), considerando que para cada 1 kg de queijo são utilizados 9 litros de leite (JERÔNIMO, 2012), de onde se tira que a *per capita* de leite ano no Brasil é de 20,7 litros.

Perry (2004) citando dados de 2001 indicava que a produção leiteira no Brasil era de cerca de 20 milhões de litros, sendo 60% deste total destinados à fabricação de queijos, a qual atinge 450 mil toneladas anuais. Extrapolando esse percentual de 60% para a parcela de leite não inspecionado descrito por Zoccal (2017) ter-se-ia um volume de 7,2 bilhões de litros destinados a produção de queijo, tendo um volume de soro estimado em 6,48 bilhões de litros (90%).

Jerônimo et al (2012) afirmam que, proporcionalmente, a geração de soro de uma queijaria artesanal varia de acordo com sua capacidade produtiva. Observam também que a perda de leite no processo produtivo é quase inexistente. No caso de Mossoró (RN), o leite denominado de avaria, devolvido pelas empresas, vai para a produção de queijo manteiga e o soro em quase sua totalidade, vai para a criação de porcos, tendo apenas um registro de uma queijeira na zona urbana que direciona o soro para a rede pública de esgotos.

Em observação *in loco* no município de Pombal (PB), sabe-se que o soro na sua totalidade é direcionado para pocilgas, sendo o efluente do processo originário dos processos de limpeza dos utensílios e do setor.

Bertol, Santos Filho e Bonett (1996) dizem que “soro de leite integral, resultante da fabricação do queijo, é um produto que apresenta grande potencial para utilização na alimentação dos suínos”. Os autores acrescentam que possui alto valor nutritivo, sendo muito palatável para os animais e, dessa forma, referendando o hábito popular, recomendando em seu artigo as forma de aplicação dessa alimentação em conjunto com ração balanceada, nas diversas fases de vida do suíno, objetivando um plantel saudável e de melhor carcaça.

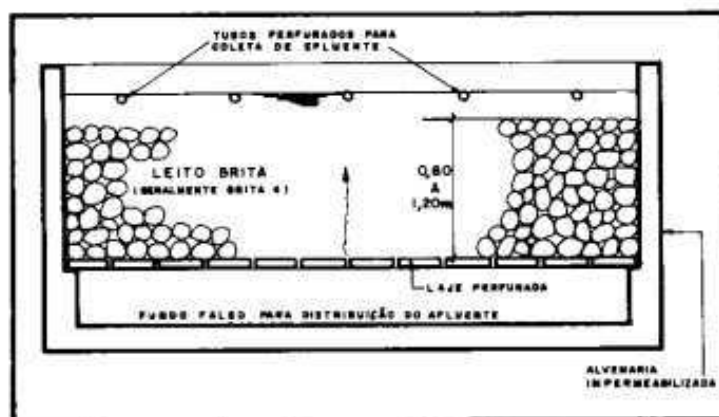
Saraiva et al (2012), estudando o melhoramento dos queijos artesanais da Serra da Canastra, corroboram com o dado anterior dizendo que os efluente gerados pelas queijeiras de lá são provenientes do processo de higienização.

Apesar de sua destinação ao reaproveitamento, há na bibliografia relatos de lançamento do soro em sistemas de coletas públicos e diretamente no solo, todos passíveis de legalidade, desde que obtenham os níveis de qualidade desejáveis para tanto. Tendo sempre em vista que, se o soro não for aproveitado ou adequadamente tratado, poderá gerar grande problema ambiental, “contaminando drasticamente corpos receptores; o que gera problemas ambientais, como a demanda bioquímica de oxigênio de 30.000 mg/L a 50.000 mg/L” (IMAMURA E MADRONA, 2012 Apud HOSSEINI; SHOJAOSADATI; TOWFIGHI, 2003).

3.7 Filtros anaeróbios

Campos e Dias (1989, p. 1), definem o filtro anaeróbio como sendo um reator no qual a matéria orgânica é estabilizada através da ação de microrganismos que ficam retidos nos interstícios ou apoiados no material suporte que constitui o leito filtrante por onde escoam o efluente. Um esquema ilustrativo de um filtro anaeróbio pode ser visto na Figura 09.

Figura 09 - Esquema de filtro anaeróbio empregado no tratamento de efluentes líquidos



Fonte: Campos e Dias (1989)

Van HAANDEL e LETTINGA (1994) apud Camargo (2000) cita a digestão anaeróbia como um processo que envolve 4 etapas:

I Hidrolise

O material orgânico particulado é convertido a compostos dissolvidos de menor peso molecular pelas exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas. As proteínas se degradam para formar aminoácidos; os carboidratos se transformam em açúcares solúveis (mono e dissacarídeos); e os lipídeos são convertidos em ácidos graxos de cadeia longa de carbono e glicerina;

II Acidogênese os compostos dissolvidos gerados no processo de hidrólise, são convertidos nesta etapa, para substâncias mais simples, tais como: ácidos graxos voláteis (acético, propiônico e butírico) álcoois, ácido láctico e compostos simples (CO_2 , H_2 , H_2S);

III Acetogênese Os produtos da acidogênese são convertidos em acetato, CO_2 e H_2 , compostos que serão os substratos utilizados na etapa seguinte e na produção de metano. Dependendo do estado de oxidação do material orgânico a ser digerido, a formação de ácido acético pode ser acompanhada pelo surgimento de dióxido de carbono e hidrogênio;

IV Metanogênese o metano é produzido pelas metanogênicas acetotróficas a partir da redução de ácido acético e pelas metanogênicas hidrogenotróficas, a partir da redução do CO_2 pelo H_2 . As metanogênicas acetotróficas geralmente limitam a taxa de conversão dos compostos orgânicos a biogás, pois o crescimento das metanogênicas hidrogenotróficas ocorre mais rapidamente. O controle desses processos é a linha entre o bom funcionamento e o colapso do sistema.

No Brasil, o uso de filtros anaeróbios para instalações de pequeno porte passou a ser difundido, sobretudo, depois que a Associação Brasileira de Normas Técnicas normalizou seu emprego para tratamento de efluentes de tanques sépticos (NBR 7229, 1993 e NBR 13969, 1997).

Experimentos realizados com a utilização de filtros anaeróbios apresentaram excelentes resultados quanto à remoção de carga orgânica, demonstrando grande potencial de aproveitamento, todavia, não apresentaram bom desempenho na remoção de microrganismos como outros processos de tratamento (ROQUE E MELLO JUNIOR, 1999 Apud YOUNG e MAC CARTY, 1969; PAULA Jr., 1983; DENNIS Jr e JENNET, 1974).

Os filtros anaeróbios podem ser utilizados como unidade principal de tratamento, mas eram mais utilizados na etapa de polimento, pois a presença de grandes quantidades de sólidos suspensos pode levar ao entupimento dos interstícios do meio suporte (ÁVILA, 2005, p. 39)

Segundo Ávila (2005, p. 41), os filtros anaeróbios podem ter variadas formas, configurações e dimensões, devendo atentar para obtenção de um fluxo uniformemente distribuído e um bom desempenho funcional. Quanto ao fluxo poder ser ascendente, descendente ou horizontal.

Quanto ao fluxo, os filtros apresentam características diferenciadas, que estão expostas na Figura 10.

Figura 10 - Características dos filtros anaeróbios de diferentes sentidos de fluxo

Características Gerais		
Fluxo Ascendente	Fluxo Descendente	Fluxo Horizontal
<ul style="list-style-type: none"> • Maior retenção de lodo em excesso; • Bom tempo de contato entre o esgoto e o biofilme devido aos lodos em sustentação hidráulica; • Propiciam alta eficiência e baixa perda dos sólidos que são arrastados no efluente; 	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentam facilidade para remoção de lodo em excesso; • Menor risco de entupimento no leito; • Podem receber esgotos com maior concentração de sólidos; • Indicado para altas e baixas cargas orgânicas; 	<ul style="list-style-type: none"> • Funciona com características intermediárias entre o fluxo ascendente e descendente.
<ul style="list-style-type: none"> • São mais indicados para esgotos com baixa concentração; • Maiores riscos de entupimento dos interstícios 	<ul style="list-style-type: none"> • Os filtros com fluxo não afogado apresentam baixa eficiência. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior dificuldade na distribuição do fluxo; • Desempenho diferenciado ao longo do leito; • Concentração de lodo em excesso mal distribuída; • Remoção do lodo difícil; • Deve ser usado com baixas taxas de carga orgânica.

Fonte: Ávila (2005)

Um dos aspectos que merecem maior atenção nos projetos e construção de filtros anaeróbios é a busca de alternativas para o material do meio suporte. As finalidades do meio suporte são (CHERNICHARO et al., 2001):

- Permitir o acúmulo de grande quantidade de biomassa, com conseqüente aumento do tempo de retenção celular;
- Melhorar o contato entre os constituintes do despejo afluente e os sólidos biológicos contidos em um reator;
- Atuar como uma barreira física, evitando que os sólidos sejam carregados para fora do sistema de tratamento;
- Ajudar a promover a uniformização do escoamento no reator.

Os materiais alternativos quando encontrados podem possuir a qualidade de reduzir custos, mitigar impactos ambientais, diversificar a matriz produtiva e de mercado, transferir saberes entre grupos diversos e potencializar a capacidade inovadora dos indivíduos envolvidos. Dessa forma, é válida a busca desses materiais, norteando-se pelos princípios de tecnologia apropriada, descritos por Saxeniam e Darrow [????] apud Kligerman (1995):

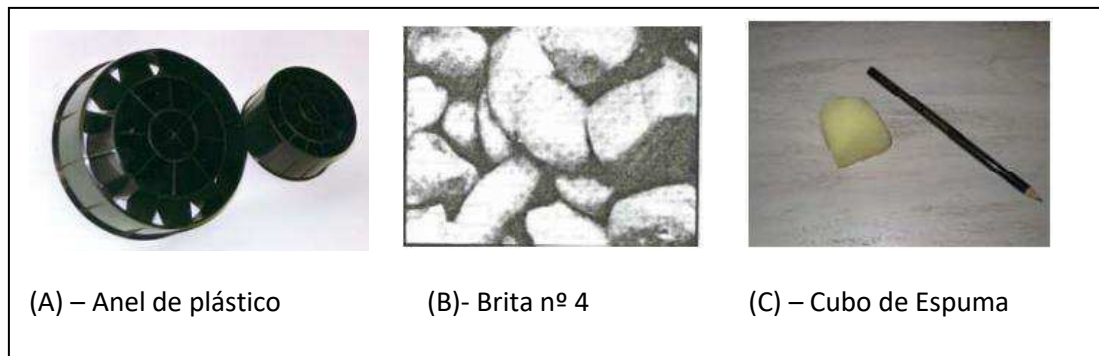
São os seguintes princípios que fundamentam o conceito de tecnologia apropriada:

- 1- permite que as necessidades sejam atendidas mais efetivamente devido ao envolvimento de pessoas do local tanto na identificação de suas necessidades, como no trabalho com essas identidades.
- 2- representa muito mais o desenvolvimento de práticas do que de equipamentos.
- 3- representa uma certa organização de atividades, que devem ter uma correta administração e treinamento para que os erros sejam detectados e vencidos.
- 4- permite uma operação econômica devido à minimização do transporte de mercadorias e o uso de recursos locais - humanos e materiais.

- 5- permite o estabelecimento e o desenvolvimento do saber local da comunidade.
- 6- ajuda a reduzir a dependência econômica, social e política entre indivíduos, regiões e nações reconhecendo que as pessoas podem e devem resolver os seus problemas.

Na busca pela tecnologia apropriada, Ávila (2005, p. 70) testou materiais alternativos como leito filtrante em filtros anaeróbios de fluxo ascendente conjugados a tanque sépticos, sendo os materiais: anéis de plástico, brita nº 4 e cubos de espuma de poliuretano (Figura 11).

Figura 11 – Materiais alternativos para leito filtrante



Fonte: Adaptado de Ávila (2005)

Cynamon (2003), no ano de 1986, realizou um estudo sobre sistemas de esgotamento não convencional, a custo reduzido, utilizando tanques sépticos domiciliares com leito de secagem acoplado. Analisando o problema sanitário, Cynamon constatou que a viabilidade de um projeto de saneamento depende de um conjunto de fatores (população, condições locais, tecnologia disponível, exigências técnicas, recursos humanos, materiais e financeiros) e que varia de acordo com as especificidades locais. Nas áreas rurais, as soluções individuais (privadas com fossas de diversos tipos) são impositivas, mas à medida que crescem as aglomerações urbanas, as soluções coletivas se tornam imperativas, principalmente quando as localidades são providas de abastecimento público de água e os terrenos não filtram. O tratamento final é uma imposição sanitária e a eficácia sanitária só é conseguida com o sistema "completo" (coleta, transporte, tratamento e destino final).

Quanto ao tratamento final, Cynamon (2003) propôs uma ETE composta por uma câmara de chegada seguida de três filtros seriados com fluxo alternados e tendo ao fim um filtro de areia para polimento. Esse sistema era precedido por tanque séptico e caixa de gordura acoplado a leito de secagem que ficavam nas unidades habitacionais e realizavam um pré-tratamento do efluente antes de lança-lo na rede coletora.

O material utilizado como leito filtrante dos filtros anaeróbios foi a brita n. 4 e no filtro de polimento areia com diâmetro efetivo de 1 mm.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no campus Pombal do Centro de Tecnologia Agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), mais precisamente no Laboratório de Análises de Água – LAAg da Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental (UACTA) do Curso de Engenharia Ambiental.

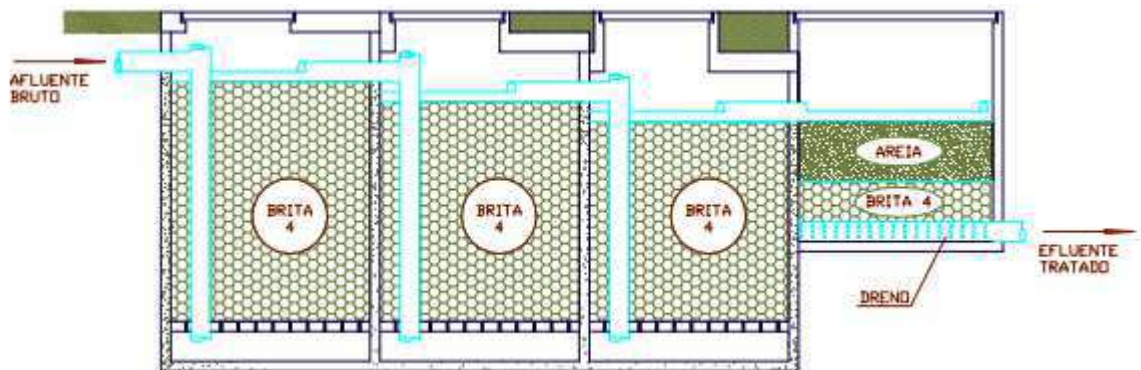
4.1 Confeção dos Filtros anaeróbios em escala de bancada

Por ser um estudo em fase inicial, optou-se pela construção de filtros em escala de bancada, no intuito de otimizar material, tempo, desonerar a pesquisa e evitar desperdícios.

A estrutura fora feita em Tubo PVC Ø100 mm linha branca, para esgotos domiciliares, conectados por mangueiras de silicone.

A montagem dos filtros orientou-se pela descrição do sistema dada por CYNAMON (2003, p. 54), onde a série de 03 de filtros anaeróbios seguiu a sequência: 1º de fluxo de ascendente, o 2º de fluxo descente, o 3º de fluxo ascendente, seguindo o fluxo para um filtro elementar de areia grossa e, posteriormente para o destino final. Segue a descrição, a constituição do leito filtrante com brita nº 4, cujo objetivo é sua substituição pelo caulim, com altura mínima de 1,2m; com perda de carga uma unidade filtrante para outra de 0,10 m. taxa volumétrica de 10 a 20m³/m²/dia. Em consorcio, aplicou-se a NBR 13969 (1997), que trata dos tanques sépticos, unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, como ilustra a Figura 12.

Figura 12 – Filtro anaeróbico em série, tipo Cynamon, 1986



Fonte: Roque e Mello Júnior, 1999.

Considerou-se uma unidade produtora de pequeno porte.

Dados:

Volume de leite recebido: 4.200,00 litros/dia

Coeficiente de relação efluente/ leite = 2

Dai tirou-se que o volume de efluente (C) = 2 x 4.200 = 8.400 L efluente/dia

A equação (1) define o volume útil do filtro anaeróbico

$$V_u = 1,6 \times N \times C \times T \quad \text{Equação (1)}$$

V_u = Volume útil

N = número de Contribuintes

T = Tempo de detenção hidráulica

T = é determinado na Tabela 4 da NBR 13969:1997 e considera para escolha do coeficiente a Vazão e a temperatura média do mês mais frio.

Para o estudo considerou-se a temperatura média de 25°C.

Desta forma: $T = 0,5$

$$V_u = 1,6 \times 1 \times 8400 \times 0,5$$

$$V_u \approx 6,72 \text{ m}^3$$

Por motivo de operacionalização do piloto do filtro o corpo de PVC ficou com altura de 50 cm. Essa limitação forçou um ajuste da altura da camada filtrante para 0,37m de forma que o calculo feito inverso determinou o valor de C da equação (1) que ficou 2280 vezes menor que a escala real.

$$2,905 = 1,6 \times 1 \times C \times 0,5$$

$$C = \frac{2,905}{0,8} = 3,631 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$$

Essa vazão equivale a proporção de 1:2313 com relação a vazão de projeto em escala real.

4.2 Montagem experimental com efluentes de laticínio

O efluente de laticínio foi obtido em uma queijeira localizada na zona urbana do município de Pombal (PB) sendo recolhido em bobonas de 40 L adquiridas no comercio local.

4.2.1 Parâmetros físicos e químicos do efluente

- **pH, Cor aparente, Turbidez e Condutividade Elétrica**

Os parâmetros pH (Tecnopon), Turbidez (Policontrol AP-2000), Cor Aparente (Lovibond) e Condutividade Elétrica (Tecnopon) foram medidos seguindo a metodologia determinada pelo fabricante com amostras a fresco. Na Figura 13 os aparelhos utilizados nas respectivas leituras.

Figura 13 - Medidores de Turbidez, Cor e pH



Fonte: acervo pessoal (2019)

- **Sólidos Totais, Sólidos Voláteis e Sólidos Fixos**

Sólidos Totais

De início realizou a tara do peso das capsulas vazias (A). Estas foram submetidas ao forno mufla numa temperatura de 500 ± 50 °C durante um hora, sendo em seguida postas para resfriamento em dessecador. Quando alcançaram temperatura ambiente foram pesadas em balança analítica e o valor anotado. Repetiu-se o procedimento até o peso constante.

Com auxílio de uma proveta um volume de 100 mL da amostra (VA), devidamente homogeneizada, fora dispensada na capsula anteriormente preparada. Esse conjunto foi posto para evaporação até a secagem em um Banho-Maria marca solab na temperatura de 100 °C. Quando toda a amostra secou no interior da capsula o conjunto foi levado para estufa de secagem com temperatura de 105 °C \pm 1 °C por 01 h. Passada 1h o conjunto fora posto para resfriamento em dessecador e quando atingiu a temperatura ambiente teve seu peso verificado numa balança analítica (peso B).

Usando a equação 1 obtém-se o valor dos Sólidos Totais

$$ST = \frac{1000 (B-A)}{VA} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

ST = Sólidos totais

VA = Volume da Amostra

A = Peso da capsula vazia

B = Peso da capsula + amostra.

Sólidos Totais Fixos

O conjunto capsula + resíduo anteriormente descrito foi levado posteriormente para o forno mufla e posto para ignição a temperatura de $500\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 1 h e após isso resfriado até a temperatura ambiente com o auxílio de um dessecador, sendo em seguida o conjunto pesado em balança analítica (C)

$$\text{STF} = \frac{1000(\text{C}-\text{A})}{\text{VA}} \quad \text{Equação 2}$$

STF = Sólidos Totais Fixos

C – Peso da capsula com cinzas

A = Peso da capsula vazia

Os Sólidos Totais Voláteis foram deduzidos pela diferença entre os ST e os STF.

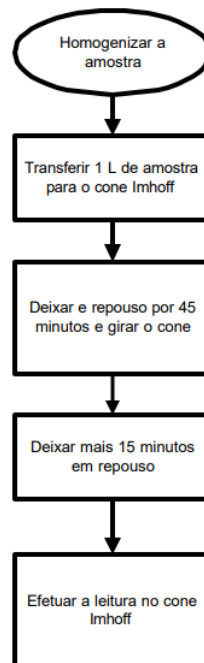
$$\text{STV} = \text{ST} - \text{STF} \quad \text{Equação 3}$$

STV = Sólidos Totais Voláteis

- **Sólidos Sedimentáveis**

Os sólidos sedimentáveis foram determinados pela Norma Técnica Interna SA-BESP – NTS 013 de Junho de 1999 – Revisão 1, p. 8. Ensaio com Cone Imhoff é demonstrado na Figura 14.

Figura 14 – Esquema da análise de Sólidos Sedimentáveis



Fonte: SABESP – NTS nº 013/1999

- **Demanda Química de Oxigênio - DQO**

A DQO seguiu o método de Refluxação Fechada – Modificado – Método B do Manual de Análises Físico-Químicas de Águas de Abastecimento e Residuárias, de autoria dos professores Salomão Anselmo Silva e Rui Oliveira. EXTRABES/UFCG.

O livro publicado também pela editora ABES, **ISBN: 8590194310 ISBN13: 859** **Edição: 1ª Edição – 2006 Número de Páginas: 266**

4.3 Caracterização do Caulim

4.3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE CAULIM

4.3.1.1 Caracterização física

- GRANULOMETRIA

A preparação das amostras foi realizada pela norma NBR 6457/1986 que prescreve o método para preparação de amostras de solos para os ensaios de compactação e de caracterização. Utilizando-se peneiras da série de Tyler normal com agitação mecânica de 2 min. A serie de peneiras seguiu a seguinte sequência : 4,75; 2,36; 2,00; 1,18; 0,60; 030; 0,177 e 0,150.

A análise granulométrica foi realizada de acordo com a norma NBR 7181/1984 utilizando 1000g da amostra oriunda do município de Junco do Seridó (PB).

- DENSIDADE APARENTE

A densidade aparente foi realizado em triplicata através da NBR 12076: 2001. Seca-se em estufa os materiais adsorventes suficientes para preencher uma proveta de 100 mL durante 3h, a temperatura de 130 ± 5 °C. Após o resfriamento dos materiais adsorventes em dessecador até temperatura ambiente, a massa da proveta foi preenchida com os adsorventes até volume de 100 mL. Determina-se em balança analítica, em seguida compacta-se os materiais adsorventes até que não haja mais alteração no volume e anota-se os volumes finais da compactação dos materiais adsorventes. A Equação 1 foi utilizada para determinar a densidade aparente.

$$D = \frac{P_2 - P_1}{V}$$

Equação 1

Em que:

D: densidade específica aparente (g.cm^{-3});

P₁: Massa da proveta vazia (g);

P₂: Massa da proveta com amostra do material adsorvente (g);

V: Volume do material adsorvente na proveta após compactação (cm^3)

- TEOR DE UMIDADE

O teor de umidade foi realizado em triplicata segundo a norma ASTM D 2867:2004, pesando-se de 1,0 a 2,0 g de adsorvente que foram peneirados a 50 Mesh; e de 5,0 a 10,0 g de material que conseguiram passar por essa malha de abertura. Mediu-se em béqueres que foram mantidos em estufa a 150 ° C por 30 min, resfriados em dessecador com sílica gel até atingirem a temperatura ambiente e foram determinadas suas massas em balança analítica. Foram anotadas as massas dos béqueres e do conjunto béquer com massa de adsorvente. Os conjuntos foram

mantidos em estufa a 150 °C por 3 h, resfriados em dessecador com sílica gel e novamente foram determinadas suas massas. A Equação 2 foi utilizada para calcular o teor de umidade.

$$TU = \left(\frac{C-D}{C-B} \right) \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

TU (%): Teor de umidade;

B: Massa do recipiente (g);

C: Massa do recipiente com a amostra inicial(g);

D: Massa do recipiente com a amostra seca (g).

- TEOR DE CINZAS

O teor de cinzas foi realizado de acordo com procedimentos descritos na norma ASTM D 2866:1994, em triplicata. A massa de 10,0 g de cada adsorvente foi seca em estufa a 150 ± 5 °C por 3 h. Concomitantemente 6 cadinhos foram colocados em mufla a 650 ± 25 °C durante uma hora. Decorrido o tempo da estufa e da mufla, as massas e os cadinhos foram colocados em dessecador com sílica gel até atingirem temperatura ambiente. Após resfriamento, as massas dos cadinhos foram determinadas, bem como 5,0 g de carvão ativado. Esses cadinhos com o material adsorvente foram levados para mufla por 8 h a 650 ± 25 °C para a carbonização das amostras. Em seguida, os cadinhos foram mantidos em dessecador com sílica gel para resfriamento, e após ser atingida a temperatura ambiente foram pesados em balança analítica. A Equação 3 foi utilizada para calcular o teor de cinzas.

$$TC = \frac{M_r}{M_i} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

TC: Teor de cinzas (%);

M_r: Massa de sólidos restantes (g);

M_i: Massa inicial da amostra (g).

4.3.2 Formulação da pasta de caulim

- O modelo foi construído de forma a possuir características morfológicas similares a da brita nº 4 favorecendo a substituição;
- A formulação fora realizada usando como medida a unidade a formulação usual na construção civil que é o traço. Os traços utilizados foram: 1:3; 1:4 e 1:5.

Como aglomerantes forma utilizados:

1. Amido comercial;
 2. Cimento Portland;
 3. Cal; e
 4. Argila (oriunda do município de Sousa – PB)
- Optou-se pelo uso de secagem natural e do tratamento térmico para favorecer o acesso mais fácil a tecnologia. A Tabela 01 apresenta as temperaturas utilizadas para cada elemento.

Tabela 01 – Temperaturas dos tratamentos térmicos

Elemento	Temperatura (K)		
Cimento	Ambiente	473,15	973,15
Cal			
Argila			
Amido			523,15

O amido foi submetido a temperatura inferior por degradar em 573,15 K.

No tratamento térmico fora utilizado uma estufa de secagem e esterilização para o tratamento a 473,15 k e um forno Mufla para os demais tratamentos.

4.3.2.1 Teste de resistência da pasta de caulim

4.3.2.1.1 Teste de resistência simples

Esse ensaio realizado no LABRES – Laboratório de Resíduos Sólidos da UACTA/UFMG – campus Pombal, utilizando a NBR 7215/1996, com corpo de prova de Ø 5cm por 10 cm de altura.

4.3.2.1.2 Teste de resistência – ácidos

Os corpos de prova foram submetidos a ataque ácido utilizando formulação de ácido sulfúrico a 2,5 M e Cloreto de sódio 1M.

Os corpos de prova ficaram parcialmente imersos nas soluções por um período de 24 h em equipamento Incubadora Shaker (marca Solab – mod. SL202) com temperatura de 309,15 K.

Ao fim do período seguiu-se inspeção da superfície dos corpos de prova com o auxílio de Lupa Esterioscópica (marca Physis). As observações foram feitas com aproximações de x7 e x45 para verificação de danos a superfície do material. Na Figura 15 estão os equipamentos citados nessa etapa.

Figura 15 – Equipamentos : Skaker (A) e Lupa Esterioscópica (B)



A

B

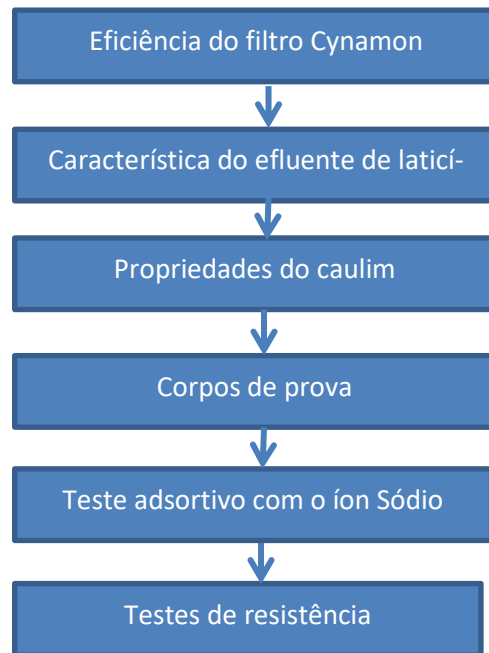
Fonte: Autor

4.5 Testes adsortivos para remoção do íon sódio

Os corpos de prova Argila-Caulim (ARC); Amido-Caulim (AMC) e Cimento-Caulim (CIC) nos traços 1:3; 1:4 e 1:5 ficaram imersos por 24 h, sob agitação de 100 rpm a temperatura de 303,15 K.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para facilitar uma maior compreensão no entendimento dos resultados, por serem muitos e diversos, segue um fluxograma da disposição da apresentação dos resultados.



5.1. Filtros tipo Cynamon

A relação entre volume de leite beneficiado e o volume de efluente gerado pode variar muito devido a matéria-prima, ao processo de beneficiamento, ao maquinário, a qualidade da água, ao produto gerado. Orientou-se a construção pela NBR 13969:1997 – Tanques Sépticos, optando-se por filtros tubulares por favorecer a montagem em campo e também por ser a forma mais fácil de obtenção pela população uma vez que se poderiam reproduzir os filtros utilizando bombonas de plástico resistente.

Confeccionou-se os filtros anaeróbios apresentados na Figura 16 e que seguiram o esquema proposto por Cynamon, respeitando a NBR 13969:1997.

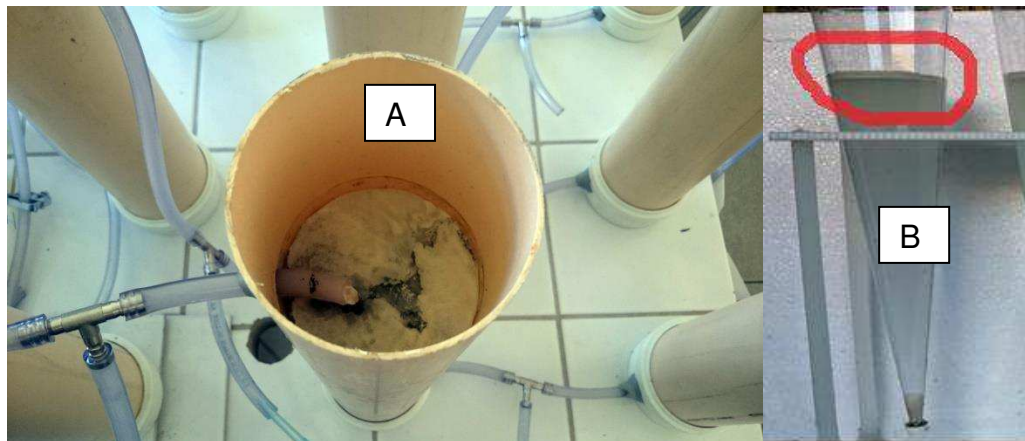
Figura 16 – Série de filtros anaeróbios em escala de bancada.



Fonte : Autor

A operacionalização do sistema com efluente da queijeira fora feita por injeção direta sem prévio tratamento o que mostrou-se inviável no terceiro dia de operação pelo entupimento do dutos por uma camada de material flutuante como é possível ver na Figura 17 (A), cuja presença foi evidenciada também no teste de Sólidos Sedimentáveis com Cone Imhoff na Figura 17 (B)

Figura 17 – Presença de material flutuante no filtro (A) e no Cone Imhoff (B).



Fonte: Autor

Em todas as amostras de efluentes houve essa formação e que em determinados momentos obstruiu a saída da caixa de distribuição, cujo aspecto em um desses momentos está apresentado na Figura 18. Essa condição exigiu para que fosse possível o funcionamento dos filtros a remoção desse material previamente, o que foi realizado com auxílio sacos de estopa numa filtração simples.

Figura 18 – Caixa de distribuição obstruída por material flutuante.



Fonte: Autor

A modificação da caixa de distribuição (Figura 19) que deixou de ser por tubulação em posição horizontal e passou a possuir uma curva de 90° conectada em um toco de pvc cuja boca fora protegida com um a tela, foi uma consequência do evento descrito.

Figura 19 – Detalhe da caixa de distribuição.



Fonte: Autor

Os sólidos sedimentáveis num universo de 08 amostras variaram entre 3 e 75 mL. L⁻¹, já as demais frações de sólidos mensurados: ST, STF e STV, não apresentaram grande flutuação sendo seu valor médio expresso na Tabela 02, representati-

vo de sua presença na massa do efluente na sequencia do sistema de filtros: Efluente Bruto (FB), 1º Filtro - Ascendente (F1.1), 2º Filtro - Descendente (F1.2) e 3º Filtro – Ascendente (F1.3).

Tabela 02 – Resultados das análises físicas e químicas no efluente

Parâmetros	Und.	FB	F1,1	F1,2	F1,3
pH		3,83	3,88	4,07	4,18
Cor aparente	u.C.	4345,0	4352,5	3792,5	1350
Turbidez	u.T.	822,25	929,75	815,75	246,5
CE	uS/cm a 25°C	1.027,62	958,72	978,12	890,00
ST*	mg .L ⁻¹	4.325,21			
STF*	mg .L ⁻¹	329,38			
STV*	mg .L ⁻¹	3.995,83			
DQO*	mg .L ⁻¹	843,4	987,9	963,8	867,5

Fonte: Autor

*Valor Médio

Cor aparente e Turbidez apresentaram reduções de 68,93% e 70,02% respectivamente, ainda longe de alcançar o nível das águas doce Classe 3, CONAMA 357/2005, que para cor verdadeira prevê valor máximo de 75 u.C. e para Turbidez até 100 u.T..

Os valores de DQO apresentaram uma elevação durante o tratamento (Tabela 02) levando ao pensamento de que haveria interferência do pH ou de substâncias que mascarassem os resultados. Sobre isso Pereira *et al* (2009, p.8) diz que os ácidos graxos na forma não ionizados são tóxicos para bactérias metanogênicas e que os valores de pH para tratamento anaeróbio deveria estar entre 6,7 e 8. E que a presença desses ácidos em pH inferior a 6 pode causar danos severos ao grupo metanogênico o que ocorreu nos filtros do experimento ficando o pH abaixo de 4,2, Tabela 02.

Aquino e Chernicharo (2006, p. 2) dizem que a DQO poderá ser causada por substância orgânicas e/ou inorgânicas passíveis de oxidação pelo dicromato de potássio em meio ácido.

Por fim Antonelli *et al* (2016, p.3 Apud Comino et al., 2012) diz que o soro de leite tem capacidade de rápida acidificação o que poderia causar o colapso de um reator UASB sendo necessário portanto a neutralizá-lo do pH.

Os valores de CE acima de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como ocorrido no efluente tratado, Tabela 02, indicam que o descarte desse efluente se a opção fosse a irrigação deveria ser realizada com cuidados e sob orientação técnica.

É possível observar que o filtro cynamon é eficiente no tratamento de laticínios. Contudo, a análise daqui pra frente será no caulim, a fim de verificar a substituição do material. Para um maior conhecimento das propriedades do caulim o item 5.2 apresenta as propriedades analisadas.

5.2. Análise Química e Física do Caulim

5.2.1 Densidade aparente (ρ_{aparente})

A Tabela 03 apresenta o valor calculado do caulim em estudo e valores retirados da literatura para fins comparativos e facilidade de discussão.

Tabela 03: Densidade Aparente do caulim

Material	ρ_{aparente} (g/cm^3)
Caulim	1,0967
Cimento	1,20
Areia seca	1,30
Cal hidratada	1,6 a 1,8
Brita granítica	1,8

O caulim apresenta uma ρ_{aparente} da ordem de $1,0967 \text{ g}/\text{cm}^3$ abaixo dos valores do Cimento ($1,20 \text{ g}/\text{cm}^3$), da areia seca ($1,30 \text{ g}/\text{cm}^3$), da cal hidratada ($1,6$ a $1,8 \text{ g}/\text{cm}^3$) e bem abaixo da brita granítica ($1,8 \text{ g}/\text{cm}^3$) (Gov RJ, 2018) material a que se pretende substituir, o que torna esse material em termos comparativo mais leve, o que apresenta vantagens como a de ser transportado com mais facilidade e menos custo, .

5.2.2 Teor de Umidade e Teor de Cinzas (%)

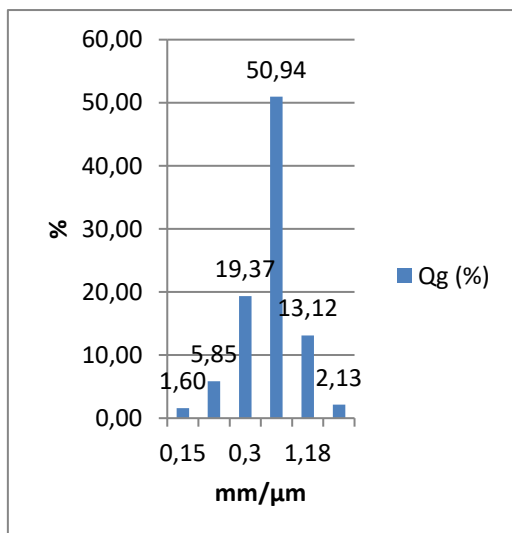
O Teor de Umidade (TU %) apresenta valor médio de 1,8%, o que indica que na temperatura de 100 °C ocorre uma perda de massa dessa ordem, representando a uma água de hidratação.

O teor de cinzas calculado para o caulim apresenta um valor de 98,6 % demonstrando um bom grau de pureza da amostra.

5.2.3 Teste de Granulometria

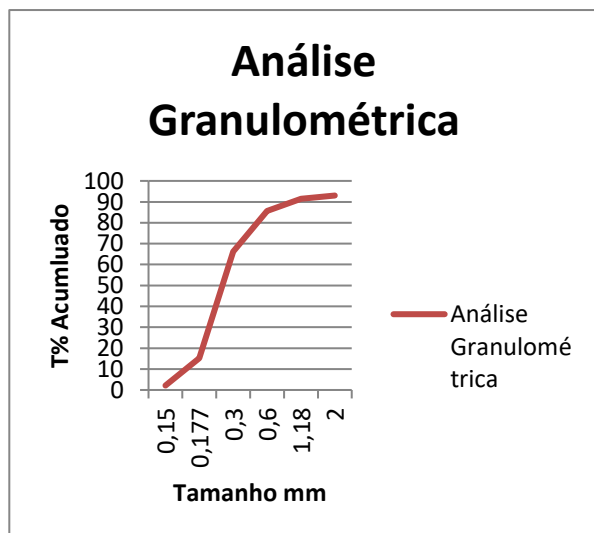
A Figura 20 apresenta a análise granulométrica do caulim, demonstrando uma distribuição percentual da granulometria da amostra PB de caulim onde o maior percentual ficou retido na peneira de 300 mm/ μ m e que 66,19% (peso) da amostra é inferior 600 mm/ μ m.

. Figura 20 – Granulometria do caulim – amostra PB, Q_g (%).



a)

Fonte: Autor



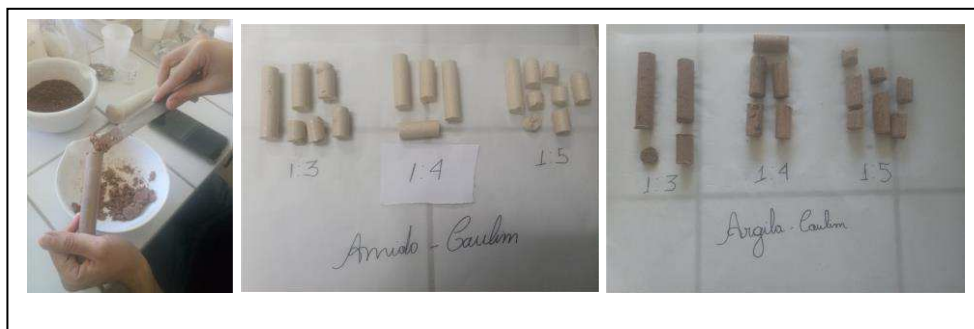
b)

5.3. Peças de Caulim+Aglomerantes

5.3.1. Corpos de Prova

O caulim puro não apresenta consistência suficiente para confecção do corpo de prova, necessitando de um aglomerante. Os corpos de prova foram confeccionados nos traços 1:3; 1:4 e 1:5 moldados por em tubos de PVC 20mm via compactação manual como ilustra a Figura 21. Como forma de testar a forma mais simples de fabricar uma peça que seria a manual, com aplicação direta da força humana para obter a compactação do material e sua modelagem. Após 48h os corpos foram submetidos a queima, onde os corpos de caulim com Cal e Cimento forma para o forno mufla a 700°C e os com Amido a 250°C.

Figura 21 – Preparo de corpo de prova



Fonte: Autor

Observa-se na Figura 21 uma boa consistência do corpo de prova amido-caulim em todas as proporções, o que pode ser explicado pelo grande potencial aglutinante do amido. Esta pasta foi a que apresentou a coloração mais clara, provavelmente pela brancura do amido utilizado.

O corpo de prova argila-caulim, apresentou uma coloração escura e avermelhada, possivelmente devido a coloração da argila utilizada para teste, mas também apresentou uma boa consistência, porém com menos brilho e menos húmida que a mistura amido-caulim.

Os corpos de prova cimento-caulim e cal-caulim não apresentaram uma boa consistência e se desagregaram, isto é, no momento de modelagem do corpo ocor-

reu um esfarelamento, não apresentando assim uma resistência a esse tipo de estrutura nas proporções utilizadas.

5.4 Teste adsorativo do caulim no íon sódio

Foi analisado a capacidade adsorativa dos corpos de prova na remoção do íon sódio, como forma de simular as condições reais do meio filtrante, já que o efluente de laticínio apresenta um alto teor de sódio.

A avaliação da capacidade das misturas caulim-aglomerante estão apresentadas na Tabela 04, onde se observa que nenhum dos corpos de provas demonstraram uma boa capacidade adsorativa para o íon sódio, isso pode ter ocorrido possivelmente pela presença do ligante, provocando uma ocupação na porosidade do caulim in natura e com isso provocando uma dificuldade na ocupação dos sítios ativos.

Tabela 04 – Avaliação da adsorção de Na⁺ por Fotometria de Chama.

Amostras	Íon Na (ppm)
Amostra Padrão	3,1 E ⁺⁵
ARC 1:3	3,2 E ⁺⁵
ARC 1:4	3,1 E ⁺⁵
ARC 1:5	3,2 E ⁺⁵
CIC 1:3	3,1 E ⁺⁵
CIC 1:4	3,0 E ⁺⁵
CIC 1:5	2,9 E ⁺⁵
AMC 1:3	-----
AMC 1:3	2,8 E ⁺⁵
AMC 1:3	3,2 E ⁺⁵

Fonte: Autor

Onde:

ARC = Argila-Caulim

CIC = Cimento-Caulim

AMC = Amido-Caulim

5.4.2 Teste de Resistência Física

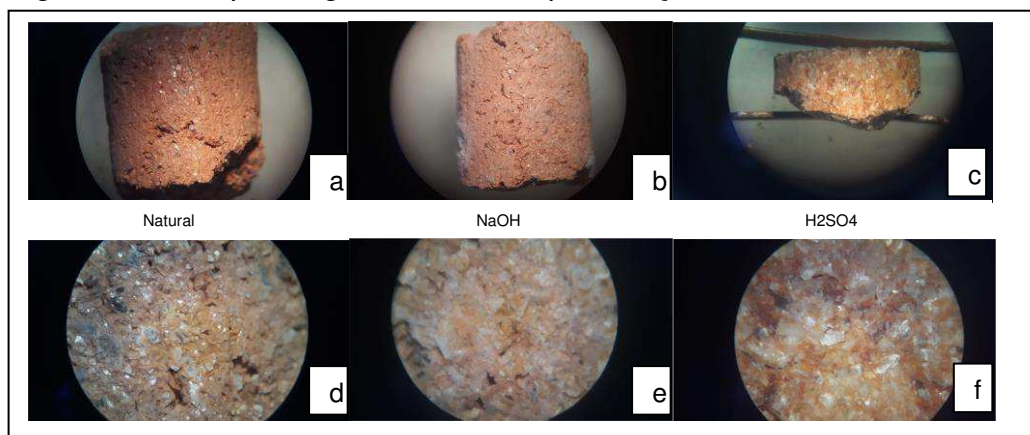
O teste de resistência ao rompimento com compressão fora realizado em corpos de prova de Caulim-Argila e Caulim-Amido com em traços de 1:3, com 5 cm de diâmetro e 10cm de altura.

O rompimento dos corpos de prova verificou para Caulim-Amido 4,2 MPa e para Caulim-Argila o valor de 4,8 Mpa uma grande resistência física, o que sugere que a resistência do material à uma pressão causada por uma coluna de água de 428,28 metros.

5.4.3. Teste de Resistencia a ataque Químico

Na Figura 22 observa-se os efeitos dos ataques em corpos de prova de Argila-Caulim no traço 1:3. Com auxílio da lupa estereoscópica em aumento de x7 e x45 evidenciou-se os efeitos do ataque ácido na Figura 22 –F com face mais polida que apresentada na Figura 22-D. Não houve desagregação devido às soluções problema nem se observou alterações devido ao ataque com NaCl 1M, Figuras 22 “b” e “e”. As observações do traço 1:3 foram análogas para os corpos de teste nos traços 1:4 e 1:5.

Figura 22 – Corpos Argila-Caulim ataque solução NaCl e H₂SO₄.

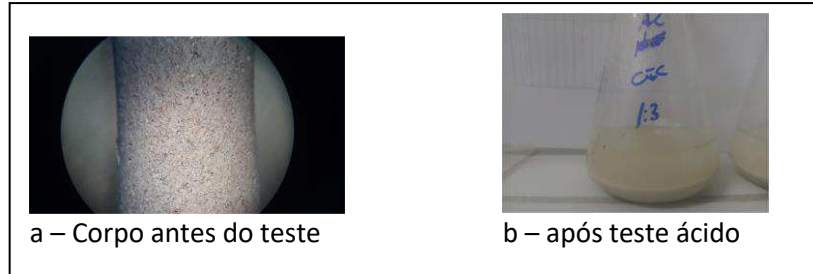


Fonte Autor

O os corpos de Cimentos-Caulim nos traços 1:3; 1:4 e 1:5 não sofreram com o ataque da solução salina, toda via não resistiram o teste com H₂SO₄ 2,5M, nem com concentração de 1M conforme mostra a Figura 23, sendo de apro-

ximadamente 3 minutos o tempo para desagregação total dos corpos de prova de cimento-caulim 1:3; 1:4 e 1:5.

Figura 23 - Corpos Cimento-Caulim após teste com H_2SO_4



Fonte Autor

Os corpos de prova Amido-Caulim apresentaram resistência aos ataques químicos como demonstra a Figura 24, apesar do ácido ter deixado marcada a superfície.

Figura 24 – Corpos Amido-Caulim ataque solução NaCl e H_2SO_4 .



Fonte Autor

Os corpos de Cal-Caulim não foram testados quimicamente pois apresentaram fragmentação na saída da queima no forno mufla como demonstra a Figura 25.

Figura 25 – Corpos Cal-Caulim após queima a $700^\circ C$.



Fonte Autor

Ao fim do teste de corrosão química em ambiente severo restaram em melhor condição os corpos de prova nas concentrações 1:3; 1:4 e 1:5 das misturas Argila-Caulim e Amido-Caulim.

6 CONCLUSÕES

Filtros tipo Cynamon – possuem potencial uso desde que acompanhado de pré-tratamento com caixa de gordura e tanque séptico.

O aproveitamento do rejeito de extração de caulim em massa (argamassa) de 1:3; 1:4 e 1:5 utilizando Argila ou Amido como aglomerante apresentou bom resultado para corrosão química e a resistência física comprovadamente no traço 1:3, fator útil para tratamento de efluentes em ambiente que pode ser bastante ofensivo para as estruturas.

Por fim dadas as características químicas e físicas do Caulim, a resistência ao ataque químico e a compressão dos corpos de prova moldados com Argila e com Amido se conclui ser viável seu aproveitamento como substituto da Brita nº 4 como meio filtrante na forma de briquete.

7 REFERÊNCIAS

- ABIA, Associação Brasileira da Indústria de Alimentos. **Indústria de alimentos fecha 2018 com aumento de 2,08% em faturamento**. Release Abia, São Paulo, 2019. Disponível em: https://www.abia.org.br/vsn/tmp_2.aspx?id=393. Acesso: 01/09/2019
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR. 7181 (1984). Solo-Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR. 16697 (2018). Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR. 7175 (2003). Cal hidratada para argamassas - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2003.
- ANDRADE, L. H. **Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reuso**. Dissertação. (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)- Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- ANTONELLI, Jhonatas et al. Produção de biogás por digestão anaeróbia do soro de leite. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 3, p. 463-467, 2016.
- AQUINO, Sergio Francisco de; SILVA, Silvana de Queiroz; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbios**. Rev. Engenharia Sanitária e Ambiental, vol II, n. 4, p. 295-304. out./dez., Rio de Janeiro 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v11n4/a01v11n4.pdf>. Acesso: 02/07/2019.
- ÁVILA, R. O. **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte**. 2005. Tese de Doutorado. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil)–Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, RJ.
- BARTSCH, M.; SARUHAN, B.; SCHMUCKER, M.; SCHNEIDER, H. **Novel low temperature processing route of dense mullite ceramics by reaction sintering of amorphous SiO₂-coated γ -alumina particle nanocomposites**. J. Am. Ceram. Soc, v.74, p. 2448-2452, 1999
- BEHMER, Manuel Lecy Arruda. Tecnologia do leite. **São Paulo: Nobel**, v. 1, p. 984, 1999.
- BERTOL, T. M.; SANTOS FILHO, JI dos; BONETT, L. **Soro de leite integral na alimentação dos suínos**. Embrapa Suínos e Aves, 1996

BRASIL, Departamento Nacional de Produção Mineral. **Economia Mineral do Brasil**. Coordenação. Antonio Fernando da Silva Rodrigues. – Brasília-DF: DNPM, 2009

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento**. Diário Oficial [da] União,, n. 53, 2005.

CAMARGO, Sandra Aparecida Rozon de et al. **Filtro anaerobico com enchimento de bambu para tratamento de esgotos sanitarios: avaliação da partida e operação**. Dissertação. UNICAMP. Campinas, 2000. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/258317>. Acesso em: 08/08/2019

CAMPOS, Jose Roberto et al. **Potencialidade do filtro anaeróbio**. Revista Dae, v. 49, n. 154, p. 29-33, 1989.

CAMPOS, Victor Matheus Joaquim Salgado; BERTOLINO, Luiz Carlos. **Caracterização mineralógica, química, e beneficiamento do caulim de Equador (RN) e Junco do Seridó (PB)**. CETEM. Rio de Janeiro, 2017.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução. 430/2011 - Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes**, 2011.

COSTA, AMÁLIA MICHELLE GOMES. Desempenho de filtro anaeróbio no tratamento de efluente formulado com diferentes concentrações de soro de queijo. **Viçosa: Universidade Federal de Viçosa**, 2008.

COSTA, Renato Gama-Rosa; COHEN, Simone Cynamon; SOTERIO, Camila Nunes. Elias Cynamon e o Programa do Rio Doce (Sesp): contribuição de fontes para a história das ações de saúde e saneamento no Brasil, 1952-1960. **Hist. cienc. saude-Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 245-259, mar. 2018 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-59702018000100245&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 19 ago. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-59702018000100014>.

CPRM, COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba** - Texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do estado da paraíba. Recife, 2002. 4v

CYNAMON, Szachna Elias. Sistema não convencional de esgotos sanitários a custo reduzido, para cidades, vilas, povoados, áreas carentes e áreas periféricas. 3.ed. Rio de Janeiro: ENSP/Fiocruz, 2003.

_____. Sistema não convencional de esgoto sanitário a custo reduzido, para pequenas coletividades e áreas periféricas. Fundação Oswaldo Cruz, 1980.

_____. Procedimentos para equacionamento e projetos de esgotos sanitários de pequenas comunidades. São Paulo, 1969. Tese (Doutorado).

_____. Sugestões de normas provisórias para elaboração e apresentação de pequenos abastecimentos de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 4, 1967, Brasília. Anais. Brasília, 1967. ESNP.

Cynamon: trajetória, influencia políticas de saneamento, 13 jun. 2012. Disponível em: <<http://www.ensp.fiocruz.br/portal-ensp/informe/site/materia/detalhe/30454>>. Acesso em: 01 ago. 2019

DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. **Caulim**. Série estatísticas e economia mineral: outras publicações. 5º Distrito. Pará, 2018. Disponível: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/6-2-caulim>>. Acesso em: 01/07/2018

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária. **O Mercado de Leite em 2017**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2017. 28p. (Embrapa Gado de Leite. Circular Técnica, 114). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/184516/1/CT-118-O-Mercado-do-Leite-em-2017.pdf>. Acesso em: 26/08/2019

FEITOSA, G. et al. **Obtenção de mulita a partir de matérias-primas naturais utilizando ativação mecânica**. CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA. 2009. Disponível: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/42/105/42105308.pdf>. Acesso: 02/07/2019

RIO DE JANEIRO, Governo do Estado do Rio de Janeiro. **SCO-Sistema de Custos de Obras e Serviços de Engenharia**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/7219844/4197840/TabelasO.pdf>. Acesso: ago./2019

GUIMARÃES, Pedro M.R.; TEIXEIRA, José A.; DOMINGUES, Lucília. Fermentation of lactose to bio-ethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorisation of cheese whey. *Biotechnology advances*, v. 28, n. 3, p. 375-384, 2010.

HAANDEL, Adrianus C.; LETTINGA, Gatzte F. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Epgraf, Campina Grande, 1994. 240 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso: 01/12/2018.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Relatório Anual de Atividade: julho de 2017 a junho de 2018**. Disponível em: http://portaldaminerao.com.br/ibram/wp-content/uploads/2018/07/Diagrama%C3%A7%C3%A3o_Relat%C3%B3rioAnual_vers%C3%A3oweb.pdf. Acesso em: 14/12/2018

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Panorama da Mineração em Minas Gerais**. Instituto Brasileiro de Mineração, Sindicato Nacional da Indústria da Extração do Ferro de Metais – Brasília: IBRAM, 2015. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006212.pdf>> Acesso em: 14/08/2019

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **As Riquezas Minerais da Paraíba**. 18 jul. 2010. IBRAM. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=120715> Acesso em: 06 setembro de 2019.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Relatório Anual de Atividade: julho de 2018 a junho de 2019**. Disponível em: <<http://portaldamineracao.com.br/ibram/wp-content/uploads/2019/07/relatorio-anual-2018-2019.pdf>> Acesso em: 14/08/2019

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **CONCLA: CNAE 2.0**. IBGE, Rio de Janeiro, 2019 Disponível em: <<https://cnae.ibge.gov.br/?view=subclasse&tipo=cnae&versao=10&subclasse=0810005>>. Acesso em: 14/08/2019

IMAMURA, Josyane Kelly Naomi; MADRONA, Grasielle Scaramal. **Reaproveitamento de soro de queijo na fabricação de pão de queijo**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 1, n. 3, p. 381-390, 2008.

JERONIMO, Carlos Enrique et al. Qualidade ambiental e sanitária das indústrias de laticínios do Município de Mossoró-RN. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 7, n. 7, p. 1349-1356, 2012.

JESUS, Monique Freitas; DOS SANTOS, Maria Camina Coutinho; FREIRE, Avelino José. Potencialidades Minerais do Estado da Paraíba. CONIDIS. ed. Realize. Campina Grande, 2016. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/revistas/conidis/trabalhos/TRABALHO_EV064_MD4_S_A2_ID918_10102016225004.pdf>. Acesso em: 01/08/2019

Kligerman, Débora Cynamon. Esgotamento sanitário: de alternativas tecnológicas a tecnologias apropriadas - uma análise no contexto brasileiro. *Rio de Janeiro; s.n; 1995. 180 p. ilus. Disponível em:* <<https://bvssp.icict.fiocruz.br/pdf/kligermandcm.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2019.

LENCASTRE, Kedma Grasielle S. da Silva. **Mapeamento da Produção de Soro de Queijo no Estado do Rio de Janeiro: Potencial para a produção de etanol**. Dissertação de mestrado, Rio de Janeiro, 2012.

MAZDIYASNI, K.S; BROWN, L. M. **Synthesis and mechanical properties of stoichiometric aluminum silicate** J. Am. Ceram. Soc., v. 55, p. 548-552, 1972.

MBEY, J. A.; HOPPE, S.; THOMAS, F. **Cassava starch-kaolinite composite film. Effect of clay content and clay modification on films properties.** Carbohydrate Polymers, 88. p. 213-222, 2012

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C.. **Mapeamento de argilas do Estado da Paraíba.** Cerâmica, São Paulo , v. 47, n. 302, p. 77-81, June 2001 . Disponível: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132001000200003&lng=en&nrm=iso>. Acesso: 01 Ago. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132001000200003>.

MOITTA, Froylan. **Tecnologia apropriada: conceitos e usos.** Revista da Fundação SESP, Rio de Janeiro, 1986.

MONTOYA, Marco Antonio; FINAMORE, Eduardo Belisário. **Delimitação e encadeamentos de sistemas agroindustriais: o caso do complexo lácteo do Rio Grande do Sul.** Economia aplicada, v. 9, n. 4, p. 663-682, 2005.

MORAES, Bruna Márcia Machado; BENDER FILHO, Reisoli. **Mercado Brasileiro de Lácteos: análise do impacto de políticas de estímulo à produção.** Rev. Econ. Sociol. Rural, Brasília , v. 55,n. 4, p. 783-800, Dez. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032017000400783&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 01 Set. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-94790550410>.

MORAES, Márcio Luiz Varela Nogueira de. **Aproveitamento de resíduo de beneficiamento do caulim na produção de porcelanato cerâmico.** 2007. 153 f. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos; Processamento de Materiais a part) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007. <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12877>

PEREIRA, Erlon Lopes; CAMPOS, Cláudio Milton Montenegro; MOTERANI, Fabrício. **Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura.** Ambiente & Água- An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 4, n. 3, p. 157-168, 2009.

PERRY, Katia SP. Queijos: aspectos químicos, bioquímicos e microbiológicos. **Química Nova**, v. 27, n. 2, p. 293-300, 2004.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Planeta precisa que mudemos nosso padrão de consumo** – Achim Steiner, diretor executivo do PNUMA. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pnuma-mudar-nosso-padrao-de-consumo-e-uma-escolha-que-devemos-tomar/>. Acesso em: 14/12/2018

RODRIGUES, Otavia Martins Silva. **Estudos de flotação de caulinita.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia. UFMG. Belo Horizonte, 2009.

ROQUE, Odir Clécio da Cruz; de MELLO JUNIOR, Hélio Andrade. **Eficiência dos filtros anaeróbios tipo cynamon no tratamento de esgotos-Parte I**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20 Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 3. ABES, 1999. p. 1-9.

SARAIVA, Claudety Barbosa et al. **Aspectos ambientais da produção do queijo minas artesanal**. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, v. 67, n. 388, p. 41-47, 2012.

SERPA, L.; PRIAMO, W. L.; REGINATTO, V. **Destino ambientalmente correto a rejeitos de queijaria e análise de viabilidade econômica**. In: 2nd International Workshop—Advances in Cleaner Production. 2009. p. 1-10.

Yu, L., Dean, K., & Li, L.. Polymer blends and composites from renewable resources. Progress in Polymer Sciences, 31. 2006, 576–602

ZOCCAL, Rosângela. **Mercado de lácteos no Brasil: produção, importação e exportação**. Revista Balde Branco, jul. 2017. Disponível em: <http://www.baldebranco.com.br/mercado-de-lacteos-no-brasil-producao-importacao-e-exportacao/>. Acesso em: 20/08/2019