

PROCESSOS PRODUTIVOS INDUSTRIAIS: UMA ABORDAGEM GERAL DOS RESÍDUOS

Ana Clara Rocha Silva ¹, Cristian Kelly Moraes De Lima ²

Resumo: Este trabalho visa a realização de uma abordagem geral a respeito dos resíduos que são gerados ao decorrer de um processo produtivo em escala industrial. A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho se deu através de consultas a materiais bibliográficos com objetivo de obter embasamento teórico a respeito do assunto. Os principais tópicos pesquisados referem-se aos tipos de resíduos que venham a ser gerados nos processos industriais e a procura de formas alternativas mais adequadas para o aproveitamento destes. Os principais resíduos a serem abordados referem-se às indústrias da cana-de-açúcar; cimento; cerâmica; petróleo. Serão considerados alguns parâmetros tais como: quantidade de resíduo produzido; aplicações destes resíduos; consequências ambientais decorrentes; viabilidade de execução de aproveitamento dos resíduos. A motivação deste trabalho tem-se como principal pilar a preocupação com a crescente quantidade de resíduos descartados no meio ambiente, aos quais muitas vezes podem ter um reaproveitamento na própria indústria de origem, pela falta de orientação do destino para com eles, sua existência passa a ser passivos ambientais. Dessa forma, é de suma importância abordar assuntos que sejam de valia para a preservação do meio ambiente, que por consequência também acarreta no bem estar da sociedade de uma forma generalizada.

Palavras-chave: resíduos; reaproveitamento; meio ambiente; indústrias.

1. INTRODUÇÃO.

Outrora a produção humana era artesanal e predominantemente rural, cuja composição dos materiais era natural e facilmente decomposta. Contudo, a partir da descoberta do fogo, alteraram-se a composição de parte dos materiais utilizados, a exemplo da produção da cerâmica a partir da queima do barro trabalhado artesanalmente. Depois vieram os metais e, por fim, com o advento da Revolução Industrial, uma infinidade de novos materiais descobertos, aos poucos, foram sendo introduzidos nos processos e produtos industriais. A descoberta do petróleo e seus derivados permitiram a produção do plástico, de difícil decomposição, entre outros materiais, mudando para sempre a forma de lidar com os resíduos [1].

No cotidiano, a sociedade moderna está o tempo todo utilizando objetos, acessórios que passaram por um processo de transformação industrial e, na maioria das vezes, não nos damos conta disso. A sociedade moderna caracteriza-se por apresentar um elevado consumo de produtos industrializados. Estes processos industriais podem acarretar em resíduos que trazem consequências para o meio ambiente. Dessa forma, observa-se uma grande dependência em materiais processados. Cada indústria apresenta um processo produtivo específico, gerando assim resíduos de diferentes tipos e quantidades e, possivelmente diferentes formas de aproveitá-los.

O *Conselho Nacional do Meio Ambiente* (CONAMA) define impacto ambiental, em sua resolução 001/86, como sendo qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta e indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e; a qualidade dos recursos ambientais [2].

Os resíduos sólidos podem ser definidos como “Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível [3].

O termo resíduo, geralmente, é associado a lixo, porém, sabe-se hoje que os resíduos sólidos são considerados como aqueles que possuem valor econômico agregado, por possibilitarem seu reaproveitamento, sendo os resíduos da biomassa transformados em matéria prima para diversos outros processos. Dos resíduos produzidos, grandes partes provêm da área agrícola e industrial. Segundo o *Plano Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil* as estimativas da geração de resíduos oriundos das agroindústrias associadas à agricultura representaram em torno de 290.838.411 toneladas de resíduos para o ano de 2009. Destes, os resíduos que mais contribuíram com estes valores, cerca de 69 %, foram o bagaço e a torta de filtro oriundos da cana-de-açúcar, gerados em sua maioria na região Sudeste do país [4].

A referência [5] menciona que “à medida que mais e mais indústrias e empresas são estabelecidas, juntamente com as taxas crescentes de urbanização e população, a geração de resíduos de indústrias e comunidade em países desenvolvidos e em desenvolvimento continua a aumentar”.

Para que seja possível avaliar os impactos ambientais de bens e serviços, utiliza-se o sistema de *Avaliação do Ciclo de Vida* (ACV). A análise do ciclo de vida de um produto, processo ou atividade é uma avaliação sistemática que quantifica os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do produto. *Environmental Protection Agency* (EPA) define a ACV como “uma ferramenta para avaliar, de forma holística, um produto ou uma atividade durante todo seu ciclo de vida”. O ciclo de um produto está compreendido na sua trajetória, ou seja, desde o momento em que sua matéria-prima passa por extração, seguindo para fase de produção, distribuição, consumo, uso e até mesmo em sua transformação em lixo ou resíduo [6].

Tendo em vista a crescente globalização na qual a sociedade moderna está inserida, as indústrias em amplo aspecto passaram a ter uma influência significativa sobre a economia das regiões em que suas filiais estão instaladas. Ao decorrer deste trabalho, determinados tipos de indústrias serão consideradas de acordo com seus respectivos resíduos, tais como as indústrias de: cana-de-açúcar; cerâmicas; cimento e petróleo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta revisão tem como objetivo apresentar uma breve fundamentação teórica quanto aos temas e conceitos ligados a gestão e aplicação dos resíduos provenientes de atividades industriais, em específico aqueles que já foram previamente citados até o momento. Serão apresentadas alternativas para os resíduos gerados por cada produção visando uma redução nos seus respectivos impactos ambientais.

2.1. Indústria da cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) apresenta importância no cenário agrícola brasileiro devido a sua grande versatilidade, sendo ela utilizada desde a forma mais simples como ração animal, até a mais nobre como o açúcar. De todas as estruturas da cana, pode ser obtido algum recurso, como exemplo, do caldo obtém-se matéria prima para o açúcar, a cachaça, o álcool, a rapadura e outros [4].

A qualidade tecnológica do caldo de cana é avaliada pela sua composição, que depende de fatores genéticos e ambientais, estado de maturação, sistema de colheita, processo de extração do caldo e de muitos outros. A composição básica da cana-de-açúcar se constitui em: fibras (10 a 16 %); caldo (84 a 90 %), desta composição do caldo (75 a 82 %) representa a água, o restante são substâncias sólidas dissolvidas. As substâncias sólidas dissolvidas dividem-se em: sacarose (14 a 24 %); glicose (0,2 a 1,0 %); frutose (0 a 0,5 %); não-açúcares (1,0 a 2,5 %) [7].

Durante o processo produtivo para obtenção do açúcar, são gerados três tipos de resíduos que são o bagaço, a torta de filtro e o melaço. Neste caso peculiar, os três resíduos apresentam aplicações consideradas satisfatórias. O bagaço da cana pode ser aproveitado como alimentação para o gado; combustível para caldeira; produção de compensado; produção de papel. A torta de filtro é utilizada como fertilizante, pois é considerada uma fonte rica em fósforo. Já o melaço apresenta inúmeras aplicações, tais como: fabricação de papelão; casquinha de sorvete; fertilizante entre outras aplicações.

2.1.1 Aplicação dos resíduos (bagaço, torta de filtro)

O processamento de beneficiamento da cana-de-açúcar tem como seu maior subproduto o bagaço da própria cana-de-açúcar. Estima-se que para cada 1 tonelada de cana seja obtido aproximadamente 280 kg de bagaço. O bagaço é obtido através do processo de moagem, que tem por objetivo separar a parte sólida (bagaço) da parte líquida (caldo). Uma das alternativas para o descarte é a aplicação como combustível em caldeiras para que sirva de geração de energia.

Considerando sua característica energética, a forma mais empregada para o descarte do bagaço da cana-de-açúcar, é na produção de energia elétrica, assim como pode vir a ser usado na fabricação de chapas de fibra para construções, fabricação de massa de papel (celulose), fabricação de matéria plástica, ração para animais e geração de bioetanol de segunda geração [8].

Segundo a referência [9], o bagaço pode ser utilizado como fonte de produção para bioetanol de segunda geração. O bagaço pode passar por um pré-tratamento, sendo hidrolisado, liberando assim os açúcares fermentescíveis, contidos neste, para assim produzir o álcool. A queima do bagaço em caldeiras é capaz de fornecer um rendimento térmico em torno de 85%. Grande parte das usinas já faz a utilização desta técnica, queimando o bagaço em caldeiras, onde este é convertido em vapor e sua energia elétrica fornece a energia necessária para a produção de etanol onde inclusive, energeticamente falando torna-se autossuficiente e em determinados casos há ainda a venda do excedente, processo denominado de cogeração.

A torta de filtro é o resíduo proveniente da filtração do caldo quando este já foi submetido ao tratamento de clarificação. A clarificação do caldo compreende alguns tratamentos físicos e químicos. Um desses tratamentos é

a fosfatação, a qual utiliza ácido fosfórico (P_2O_5) que irá auxiliar na remoção de materiais corantes e parte dos colóides do caldo. Estima-se que são gerados cerca de 40 kg de torta de filtro para cada tonelada de cana que passa pelo processo de moagem.

A torta de filtro possui uma composição química variável e além de apresentar altos teores de matéria orgânica, contendo muitos minerais importantes para o desenvolvimento da cana-de-açúcar como: fósforo, nitrogênio, cálcio e possui, ainda, teores consideráveis de potássio e magnésio [10]. Com tais características a torta de filtro passa de descartável a aplicável como adubo na própria produção de cana.

A referência [11] realizou um estudo com objetivo de utilizar a torta de filtro como um substrato para a produção de mudas de hortaliças. Foi observado que o uso de torta de filtro apresentou melhores resultados quando relacionado aos outros dois tipos de substratos fertilizantes naturais, concluindo que depois de passar por compostagem e receber adição de alguns nutrientes, a torta de filtro passa a ser um substrato com potencial para ser utilizado no processo de produção de mudas de hortaliças.

Um dos nutrientes que apresenta menor índice nos solos brasileiros é o fósforo, sua ausência é responsável por causar distúrbios no metabolismo das plantas e em seu desenvolvimento. A referência [12] cita que a torta de filtro é capaz suprir a deficiência de fósforo no solo, quando aplicada nas plantações como um fertilizante, principalmente nas áreas em que a cultura de cana-de-açúcar já vem sendo cultivada por muito tempo.

Em contrapartida aos benefícios apresentados para a utilização da torta de filtro como adubo, tal uso provoca um aumento na concentração dos teores de metais pesados nos solos que são adubados com a torta, o que agrega um alto risco de contaminação do lençol freático, levando em conta que os metais não são absorvidos pela cana-de-açúcar, tendo tendência a percolarem [8].

A referência [9] cita que não existem leis ou estudos que determinem a taxa adequada de aplicação da torta de filtro, que possa garantir que não haja contaminação do solo e das águas subterrâneas. Devido a esta razão, existem vários estudos que utilizam diferentes proporções de torta de filtro agregados a outros produtos, buscando solucionar o problema da disposição final deste resíduo e dos impactos que este pode causar.

2.2. Indústria da cerâmica

O termo “cerâmica” vem do grego *keramos* que se referia originalmente a vasilhames de argila queimada. As cerâmicas compreendem todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas. Em particular compreendem aqueles materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas) e também utensílios de uso doméstico e de adorno [13].

Do ponto de vista químico, segundo a referência [14] apud [15] “materiais cerâmicos são compostos sólidos formados pela aplicação de calor, algumas vezes de calor e pressão constituídos por ao menos um elemento metálico e um não metálico ou dois não metais”. Alguns exemplos dessas possíveis combinações são: óxido de sódio (Na_2O), óxido de magnésio (MgO), óxido de alumínio (Al_2O_3), dióxido de silício (SiO_2). A cerâmica pode ser dividida em “tradicional” e “avançada”. A cerâmica tradicional parte de materiais primas naturais ou pouco beneficiadas, de pureza variável, em especial argilas.

O aumento da necessidade de argila (principal matéria-prima) por parte da indústria de cerâmica tem provocado impactos ao meio ambiente, tais como o aumento do volume de matéria-prima extraída das jazidas; diminuição de sua vida útil; alteração de paisagem e degradação da natureza da região da jazida. Assim, é essencial que haja maneiras de diminuir o impacto ambiental, como por exemplo, a incorporação de resíduos em substituição parcial da argila. Assim, os resíduos, principalmente os finos, podem ser adicionados à massa cerâmica base, diminuindo a possibilidade de acondicionamento incorreto dos mesmos, minimizando impactos negativos ao meio ambiente e em alguns casos melhorar as características do produto final. Neste sentido, a indústria de cerâmicas apresenta boa capacidade de reciclagem de resíduos [16].

O processo de fabricação da cerâmica vermelha inclui algumas etapas: extração; estocagem e dosagem; extrusão; secagem e queima. No decorrer do processo produtivo das cerâmicas vermelhas, é possível a geração de alguns resíduos sólidos. De acordo com a referência [17], a indústria de cerâmicas vermelhas apresenta resíduos tais como: a) óleo lubrificante; b) cinzas, as quais são geradas durante a queima de combustíveis nos fornos; c) material cru não conforme; d) produto final fora de especificação. Esses resíduos, geralmente são descartados em locais próximos a indústria, constituindo em entulhos de resíduos sólidos, desperdício econômico para as empresas e modificando a paisagem ambiental.

A referência [16] discute sobre como a indústria de cerâmica vermelha é capaz de absorver diferentes tipos de resíduos industriais, graças a heterogeneidade dos seus materiais, assim como suas técnicas de processamento simples, fazendo com que o resíduo possa ser utilizado como matéria prima, o que vem ganhando maior notoriedade. Consequentemente, de acordo com a origem do material e de como o mesmo deve ser tratado, qualquer tipo de resíduo de indústria (indústria da construção civil, indústria de celulose, resíduos de construção e demolição, indústria de transformação de rochas e metais, entre outro) pode ser utilizado para produzir corpos cerâmicos.

O setor de cerâmica vermelha inclui mais de 100 indústrias de tamanhos diferentes e com uma produção, principalmente de tijolos, estimada em 60 milhões de peças/mês. O combustível mais utilizado pelas indústrias de

cerâmica vermelha é a lenha. Com um consumo médio 0,4 m³/milheiro, densidade de 0,4 t/m³ e teor de cinzas da ordem de 3%, estima-se uma geração mensal de aproximadamente 300 t de cinzas. Em decorrência do uso da lenha, as indústrias cerâmicas tornam-se também grandes geradoras de cinzas, que assim como os materiais já citados é considerada uma espécie de resíduo da indústria cerâmica [18].

2.2.1. Aplicação de resíduos na indústria cerâmica

A referência [19] fez uso de resíduos provenientes do beneficiamento de serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos. Os resíduos foram caracterizados e foram formuladas composições contendo os resíduos e confeccionados corpos de prova por extrusão. Após a queima dos corpos de prova, determinaram-se os valores de absorção de água e seu módulo de ruptura à flexão. Por fim, conclui-se que é viável uma incorporação de até 50% de resíduos nas formulações para produção de telhas e blocos cerâmicos, além de demonstrar que o uso dos resíduos de granito e de caulim são capazes de tornar as propriedades físicas superiores às observadas nos corpos de prova com incorporação apenas de resíduo de caulim.

A referência [20] trabalhou com a incorporação de resíduos provenientes das indústrias de corte e polimento do granito para produzir telhas. Inicialmente, caracterizou-se as massas cerâmicas e selecionou-se suas formulações que possuíam maior êxito. Os resultados demonstraram que as telhas que tiveram a incorporação de 10% do peso total em resíduo de granito tinham excelentes propriedades considerando suas propriedades em resistência mecânica e absorção de água. Complementa-se que o resíduo de granito é capaz de substituir de maneira parcial a matéria prima em formulações tradicionais, o que contribui para a preservação dos recursos naturais não renováveis.

A referência [21] realizou um estudo acerca da aplicação do fosfogesso (doador pela empresa produtora de fertilizantes fosfatados) na fabricação de materiais cerâmicos. O resíduo do fosfogesso foi utilizado na proporção de 5%, 10% e 15% na confecção de tijolos maciços e blocos cerâmicos. Os corpos de prova foram confeccionados por meio de prensagem e queimados a uma temperatura de 1000 °C. Com base nos resultados adquiridos os autores concluíram a viabilidade do uso do fosfogesso em produtos cerâmicos, podendo o material com tais características ser empregado na fabricação de tijolos, além de não apresentarem trincas ou rachaduras nos corpos de prova.

A referência [22] avaliou os efeitos da incorporação de resíduo de gesso em argila residual obtida da extração da pedra de gesso (Ca•2H₂O), para obtenção de produtos de cerâmica vermelha. Foram analisadas a incorporação de 5% e 10% de resíduos de gesso na argila, considerando duas temperaturas de sinterização com 800 °C e 1050 °C. Os resultados com maior significância foram aqueles com uma adição de 5% de resíduo de gesso, em uma queima de 800 °C, onde apresentou propriedades similares a argila pura. Ao optar pela utilização de materiais residuais permite-se que haja uma redução dos impactos ambientais causados e a possibilidade de novas formulações para produtos de cerâmica vermelha.

A referência [17] realizou um estudo sobre a geração e destinação dos resíduos sólidos proveniente da fabricação da cerâmica vermelha na microrregião do vale do Assú – RN. Além disso, o estudo destina-se a apresentar medidas que visam: diminuir as perdas do processo produtivo; utilização de energias alternativas e implantação de novas técnicas no processo de fabricação. A metodologia utilizada por estes autores foi dividida em duas etapas: revisão da literatura; estudo de caso realizado numa indústria de cerâmica vermelha. Estes autores observaram o mau uso dos resíduos pelos fabricantes, encarecendo o produto devido ao desperdício, acarretando num acúmulo de resíduos inutilizados que posteriormente seriam descartados de forma inadequada. Estes autores citam algumas aplicações para estes resíduos como: uso como insumo energético; misturado a massa (reduzindo assim a quantidade de rejeitos e minimizando a poluição visual); utilização do resíduo cerâmico como agregado gráúdo em concreto (blocos intertravados, contrapisos).

2.3. Indústria do cimento

O cimento é um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes que endurece sob a ação de água. É um produto derivado da rocha calcária, com alguns aditivos de correção à sua composição química.

É possível ver o uso do cimento como uma demarcação do crescimento tecno científico da humanidade, uma vez que ao invés de moradias totalmente improvisadas ou parcialmente ineficazes para com as necessidades básicas, a sociedade passou a obter moradias mais resistentes contra intemperes. Dentre suas matérias-primas está o calcário, que é encontrado de forma abundante e não possui um valor exorbitante, fazendo assim com que obras de diversas proporções possam ser feitas com o cimento. Sua extração acarreta em modificações do ambiente natural, com forte emissão de gases de efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono, provenientes da fase de clínquerização, além de causar problemas à saúde humana [5,23].

A indústria do cimento adota a prática do coprocessamento de resíduos, ou seja, em seu processamento é possível que haja um aproveitamento de resíduos provenientes de outros processos industriais, que apresentam determinado poder calorífico sendo assim queimados em fornos da indústria do cimento.

Além das matérias-primas básicas (calcário e argila), a indústria de cimento nacional tem feito uso de subprodutos provenientes de outras atividades e matérias-primas alternativas há mais de 50 anos, prática que, de alguns anos para cá, vem sendo cada vez mais adotada no mundo. Os cimentos com adição representam, ainda,

uma solução ambientalmente adequada para os subprodutos de outros processos produtivos, como escórias siderúrgicas e cinzas de termoeletricas, contribuindo com a redução de passivos ambientais. Além disso, a produção de cimentos com maiores teores de adições possibilita a preservação de jazidas minerais, pela redução da utilização de matérias-primas não renováveis (calcário e argila) [24].

O coprocessamento, utilização de resíduos industriais e urbanos como substitutos de combustível e matérias-primas tem sido realizado na indústria de cimento, em fornos devidamente licenciados para essa finalidade. O coprocessamento permite o aproveitamento da energia contida em diversos resíduos, como pneus, biomassas e resíduos industriais, representando importante papel na gestão ambiental. Destaca-se neste contexto o coprocessamento de pneus inservíveis. A destinação final em fornos de cimento possibilita o descarte de um grande volume de pneus inservíveis. Um único forno com capacidade de produção de 1.000 toneladas/dia pode consumir até cinco mil pneus por dia, de forma segura e eficiente. Os pneus apresentam um conteúdo energético maior do que o carvão e, quando queimados em ambiente controlado, não há aumento nas emissões, podendo em alguns casos haver até redução [24].

Fornos de produção de clínquer podem ser utilizados para que ocorra a destinação de uma grande quantidade de variados tipos de resíduos, desde que seja comprovado que a sua utilização não seja capaz de causar danos ambientais, não afetar a saúde e segurança pública, não cause prejuízo aos equipamentos da planta, além de não ser capaz de afetar a qualidade do clínquer/cimento produzido [25].

Os estudos e pesquisas empregando a ACV do cimento possibilitam que haja uma análise acerca do coprocessamento e a quantificação dos impactos associados ao seu processo, tendo em foco desde a utilização dos recursos naturais até o final da vida útil dos produtos cimenteiros. Contudo, seus resultados não podem ser extrapolados entre áreas diferentes, considerando que cada tipo de resíduo apresenta suas próprias características físicas e químicas que podem alterar os resultados. Em 1990, introduziu-se o uso de resíduos renováveis e o uso dos resíduos industriais e sucatas no processo de produção de cimento. A utilização de resíduos industriais como combustível complementar aos convencionais e aos resíduos de origem vegetal colocou a indústria cimenteira em uma condição inédita, pois em vez de pagar por seu suprimento de combustíveis, ela passou a faturar com a recepção de resíduos para coprocessamento. Além dos aspectos econômicos, o coprocessamento contribui para compensar os problemas da alteração ambiental decorrente de toda a cadeia produtiva [26].

2.3.1. Aplicação de resíduos na indústria do cimento

A referência [26] realizou uma revisão sobre o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer no Brasil e no mundo. Foram abordados aspectos socioambientais e tecnológicos do coprocessamento, bem como a análise do ciclo de vida (ACV) na produção de cimento, e a produção técnico-científica sobre o coprocessamento. Estes autores chegaram à conclusão de que com relação ao aspecto ambiental, o coprocessamento é uma alternativa de eliminação de resíduos que poderiam ter uma disposição de maior impacto ambiental.

A referência [24] apresenta em seu trabalho formas para que a utilização de fornos de clínquer seja capaz de tratar resíduos na produção do cimento, quando operados de forma adequada os resultados obtidos comprovam que são uma excelente alternativa para o tratamento de resíduos. Para ser utilizado como um substituto do combustível convencional, o resíduo deve apresentar capacidade de fornecer energia térmica para o processo, quando de sua combustão.

A referência [27] avalia como a utilização de pneus inservíveis (aqueles cujo sua vida útil já terminou) como fonte energética é um exemplo comum de combustível alternativo na indústria do cimento, uma vez que possuem um elevado poder calorífico, em torno de 33 MJ/kg, considerado um valor maior quando comparado a maioria dos carvões, que apresentam uma média 27 MJ/kg.

A referência [28] complementa dissertando as qualidades que o uso dos pneus inservíveis como uma fonte de combustível alternativo apresenta, uma vez que esse resíduo também apresenta menor teor de cinzas quando comparado à maioria dos tipos de carvão, e um percentual de enxofre inferior ao do carvão betuminoso.

2.4. Indústria do petróleo

O primeiro registro da participação do petróleo na sociedade é datado ainda em tempos bíblicos. Na antiga Babilônia, por exemplo, os tijolos eram assentados com asfalto e o betume era amplamente utilizado pelo povo fenício na calafetação de suas embarcações. Os egípcios usaram para pavimentação de estradas, embalsamento dos mortos e na construção das suas pirâmides, enquanto os povos romanos e gregos lançaram mão para fins bélicos. Em seu estado líquido o petróleo apresenta uma aparência oleosa, inflamável, menos densa que a água, com cheiro característico e cor variando entre o negro e o castanho-claro. É constituído, basicamente, por uma mistura de compostos químicos orgânicos (hidrocarbonetos) [29].

Segundo a *ASTM (American Society for Testing and Materials)* o “Petróleo é uma mistura de ocorrência natural, consistindo predominantemente de hidrocarbonetos e derivados orgânicos sulfurados, nitrogenados e/ou oxigenados, o qual pode ser removido da terra no estado líquido”.

A cadeia produtiva do petróleo compreende algumas fases, tais como: exploração (estudo geológico para que ocorra a identificação de novas reservas); exploração (técnicas de desenvolvimento, perfuração e produção do

poço); transporte (encaminhamento do petróleo para a refinaria); refino (processamento do petróleo com o objetivo de separá-lo em diversas frações) e distribuição (os produtos são destinados ao mercado).

Quanto a indústria do petróleo, é impossível negar que a mesma apresenta grande importância em âmbito internacional, uma vez que após passar pelo processo de refino, este resulta em diversos produtos e subprodutos com diversas aplicações e maior valor agregado, oriundos de uma série de frações. Porém sabe-se que a extração do petróleo causa diversos impactos ambientais.

O crescimento populacional indica também crescimento no consumo, oriundos da indústria petroquímica, a qual é capaz de formar uma grande quantidade de resíduos, uma vez que sua versatilidade torna possível a produção de um número expressivo de produtos e subprodutos. Em caso de um descarte inadequado, os resíduos da indústria do petróleo provocam graves problemas ao meio ambiente. Dessa forma, o gerenciamento destes resíduos requer maior atenção devido sua importância.

Estima-se, que para a indústria petroquímica, a maior preocupação seja com eventuais vazamentos no momento da extração do óleo cru, uma vez que não se tratam apenas de casos isolados. Levando em consideração suas propriedades, a remoção do óleo vazado é de difícil execução. O vazamento do petróleo é um problema de cunho mundial, quando ocorre em alto-mar ele é capaz de afetar diferentes regiões, uma vez que possui características físicas, químicas e biológicas capazes de prejudicar o ambiente em que estão se alojando. Com sua baixa densidade e coloração escura, o petróleo se aloja na superfície aquática e faz com que a luz do sol não passe, afetando toda a cadeia alimentar. Afetam em efeito cadeia, os animais que predam os peixes, como aves, por exemplo, assim como afetam a população que depende da pesca para sobreviver.

A chamada borra oleosa do petróleo é um exemplo de resíduo que merece atenção na sua destinação. Gerada em grande parte nas refinarias, parques industriais responsáveis pela limpeza e refino do óleo cru, este resíduo oleoso é formado por metais pesados, óleos e graxas; possuindo assim, alto nível tóxico. Portanto, se mal dispostos na natureza provocarão impactos negativos e duradouros [30]. Segundo a referência [31] apud [30], a borra oleosa é um material com aspecto pastoso, quase sólido, constituído de areia (mistura de argila, sílica e óxidos) contaminada com óleo, água produzida e produtos químicos utilizados no processo de produção do petróleo.

2.4.1. Resíduos gerados pela indústria do petróleo

A referência [32] faz uma análise teórica acerca dos impactos ambientais causados pela perfuração e refino do petróleo, apresentando soluções teoricamente viáveis usando tratamentos químicos. Os estudos mostram que se adotados os processos químicos para a diminuição de emissão de poluentes atmosféricos, rejeitos sólidos e líquidos o petróleo pode se tornar mais ambientalmente viável em sua exploração.

A referência [33] discorre sobre como o petróleo é responsável por constituir a principal fonte de energia utilizada pela sociedade contemporânea, mesmo que não seja um recurso natural de aspecto renovável. Devido aos impactos causados ao ambiente por sua extração é exigido um processo de licenciamento ambiental para que o processo ocorra, onde são determinadas medidas para que os impactos possam ser minimizados. À vista disso, é perceptível a ênfase do autor nos impactos ambientais gerados pela exploração do petróleo, o que, de fato, em sua trajetória até seus diversos produtos derivados é a fase com maior impacto ao meio ambiente. No entanto, neste estudo os impactos gerados pelas demais fases do setor produtivo do petróleo não são desconsideradas (terminação, produção propriamente dita e refino).

A referência [34] realiza um estudo cujo objetivo foi compreender os principais impactos gerados pelas etapas que compõem a produção de petróleo. Estes autores chegaram à conclusão de que em sua fase de produção o petróleo apresenta diversos impactos ambientais com caráter negativo e positivo. Alguns desses impactos não podem ser dissociados de algumas etapas do processo de produção. Tais autores sugerem aplicações de medidas que possam amenizar, além de um sistema de gestão ambiental para minimizar e/ou eliminar tais impactos. As boas práticas de produção podem ser capazes de evitar atitudes como: despejo de efluentes industriais contendo resíduos de óleo, sem tratamento, diretamente no mar. Quanto aos impactos positivos, os autores citam o repasse de royalties e a geração de empregos, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da sociedade.

A referência [35] demonstra como gerenciar os resíduos de uma empresa petroquímica, apresentando um procedimento de reuso para cada um dos resíduos apresentados no trabalho, exemplificado onde em específico o resíduo pode ser aplicado levando em consideração as suas propriedades. Os autores estimam que a aplicação de tais práticas será capaz de reduzir em até 58,9% o número de resíduos, no período de dez anos, cujos volumes de geração ano a ano sempre estiveram equilibrados em termos quantitativos com a comercialização, não permitindo o crescimento de passivos ambientais existentes.

A referência [30] em seu trabalho reuniu com base em estudos bibliográficos, uma série de técnicas de reutilização de resíduos da indústria petroquímica. Dentre as alternativas, menciona-se: o coprocessamento de pneus inservíveis e borra oleosa do petróleo; utilização de borracha de pneus para pavimentação asfáltica; re-extrusão; reciclagem energética, entre outros.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho se deu através de consultas a materiais bibliográficos, com o objetivo

de fazer uma revisão teórica e assim, obter um embasamento a respeito das indústrias e seus impactos ambientais de maneira geral. Dentre os principais tópicos pesquisados, destacam-se uma revisão bibliográfica sobre a indústria da cana-de-açúcar; cerâmica; cimento; petróleo, como também sobre os principais métodos utilizados no reaproveitamento de seus resíduos, considerando as vantagens e desvantagens em cada método.

4. CONCLUSÕES

A necessidade de encontrar formas de aproveitar os resíduos provenientes dos processos produtivos das indústrias surge como uma alternativa no sentido de amenizar os impactos ambientais. É esperado que a população mundial seja capaz de reduzir seus níveis de descarte e sua geração de resíduos, considerando que o crescimento da população mundial nos últimos anos afeta diretamente no número de resíduos gerados por processos industriais.

No presente estudo, buscou-se avaliar a utilização de resíduos como o bagaço de cana-de-açúcar, torta de filtro, granito, gesso, e pneus inservíveis em determinadas etapas produtivas da indústria, a fim de minimizar os impactos que seriam causados pelo seu descarte. De forma geral, a viabilidade para utilização destes resíduos está relacionada as suas disponibilidades, considerando também que estes possam ser inseridos na indústria sem afetar a qualidade dos processos e dos produtos finais.

Tendo como embasamento os métodos pesquisados na literatura e posteriormente apresentados neste trabalho, constatou-se que a utilização dos resíduos citados em processos industriais apresenta uma viabilidade significativa, atendendo aos propósitos de minimizar os impactos ambientais sem que haja prejuízos aos produtos, sendo que em determinados momentos o efeito foi justamente o contrário, onde sua aplicação foi responsável por tornar a produção mais eficiente e seus produtos detentores de uma qualidade superior ao apresentado no processo original.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OLIVEIRA, Y.L.; LINHARES JÚNIOR, Z.; ANCELMO L.; SOARES R.A.L. Estudo da Reutilização de Resíduos de Telha Cerâmica (Chamote) em formulação de massa para blocos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, v. 21, n. 2, p. 45-50, 2016. Disponível em: <<https://ceramicaindustrial.org.br/article/587657617f8c9d6e028b4842/pdf/ci-21-2587657617f8c9d6e028b4842.pdf>>. Acesso em: 14 de ago. 2020.
- [2] BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE CONAMA. Resolução 001/1986. Brasília, 1986.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 77 P. (Segunda edição).
- [4] SCHNEIDER, C.F.; SCHULZ, D.G.; LIMA, P.R.; GONÇALVES JÚNIOR, A.C. Formas de gestão e aplicação de resíduos da cana-de-açúcar visando redução de impactos ambientais. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 7, n. 5, p. 2, 2012.
- [5] AWUCHI, C.G.; AMAGWULA, I.O.; IGWE, V.S. Industrial and Community waste management: global perspective. *American Journal of Physical Science (AJPS)*. v. 1, n 1, p. 1 – 16. 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/339326009_Industrial_and_Community_Waste_Management_Global_Perspective/link/5e5e5d92a6fdccbeba14d653/download>. Acesso em: 7 set. 2021.
- [6] RIBEIRO, C.M; GIANNETTI, B.F.; ALMEIDA, C.M.V.B. Avaliação do ciclo de vida (ACV): uma ferramenta importante da Ecologia Industrial. *Revista de Graduação da Engenharia Química*, v. 11, p. 13-23, 2003. Disponível em: <<http://www.hottopos.com/regeq12/art4.htm>>. Acesso em: 02 nov. 2021.
- [7] ALBUQUERQUE, F.M. Processo de fabricação de açúcar. UFPE. 2ª ed., Recife, 2011.
- [8] PAOLIELLO, J.M.M. Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira. *MaterThesis*. Universidade Estadual, 2006. Disponível em: <http://www.udop.com.br/ebiblio/pagina/arquivos/tese_mestrado_jose_maria.pdf>. Acesso em: 22 out. 2021.
- [9] BONASSA, G.; SCHNEIDER, L.T.; FRIGO, K.D.A.; FEIDEN, A.; TELEKEN, J.G. FRIGO, E.P. Subprodutos Gerados na Produção de Bioetanol: Bagaço, Torta de Filtro, água de Lavagem e Palhagem. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*. v.4, p. 144- 166, 2015.
- [10] ALVES, D.R.; ABDALLA, M.G.; LIMA, A.F. Aplicação da torta de filtro como adubo em canaviais. 2017. I Encontro de Desenvolvimento de Processos Agroindustriais. Uniube. Disponível em: <<http://dspace.uniube.br:8080/jspui/handle/123456789/877>>. Acesso em: 04 out. 2021.
- [11] SANTOS, A.C.P.; BALDOTTO, P.V.; MARQUES, P.A.A.; DOMINGUES, W.L.; PEREIRA, H.L. Utilização de torta de filtro como substrato para a produção de mudas de hortaliças. In: *Colloquium Agrariae*. ISSN: 1809-8215. 2005. p. 01-05. Disponível em: <<https://journal.unoeste.br/index.php/ca/article/view/94>>. Acesso em: 10 out. 2021.
- [12] BITTENCOURT, V. C. et al. Torta de filtro enriquecida. *Idea News, Ribeirão Preto*, v.6, n. 63, p. 2-6, 2006.
- [13] ABCERAM (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA). Informações técnicas – definição e classificação. Disponível em: <<https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao>>. Acesso em: 14 ago. 2020.
- [14] BARSOUM, Michel W. *Fundamentals of ceramics*. CRC press, 2019.
- [15] OLIVEIRA, A.P.N.; HOTZA, D. *Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos*. Editora da UFSC, 2015.

- [16] ALMEIDA, K.S.; SOARES, R. A. L.; MATOS, J. M. E. Efeito de resíduos de gesso e de granito em produtos da indústria de cerâmica vermelha: revisão bibliográfica. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 25, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0893>>. Acesso em: 05 out. 2021.
- [17] NETO, M.L.Q.; MEDEIROS, M.K.S.; FLORENCIO, F.D.C.; JUNIOR, P.L.S. Geração de resíduo sólido proveniente da fabricação de cerâmica vermelha: caso de indústria cerâmica na região de Assú/RN. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/II-011.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2021.
- [18] INOCENTE, J.M.; NANDI, V.S.; ROSSO, F.; OLIVEIRA, A.; ZACCARON, A. Estudo de Recuperação de Resíduos Vítreos na Formulação de Cerâmica Vermelha. *Cerâmica Industrial*, v. 23, n. 3, p. 34-39, 2018. Disponível em: <<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/doi/10.4322/cerind.2018.004>>. Acesso em: 05 out. 2021.
- [19] MENEZES, R.R.; FERREIRA, H.S.; NEVES, G.A.; LIRA, H.L.; FERREIRA, H.C. Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 25, n. 7, p. 1149-1158, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2004.04.020>>. Acesso em: 31 out. 2021.
- [20] TORRES, P.; FERNANDES, H.R.; OLHERO, S.; FERREIRA, J.M.F. Incorporation of wastes from granite rock cutting and polishing industries to produce roof tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 29, n. 1, p. 23-30, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2008.05.045>>. Acesso em: 31 out. 2021.
- [21] SILVA, J.B. et al. Avaliação da Incorporação de Rejeitos de Gesso de Construção em Formulações de Massa Cerâmica. 17 CBECIMat-Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2006.
- [22] CIPRIANO, P.B.; REZENDE, R.T.O.; VASCONCELOS, A.F. Produção de cerâmica vermelha utilizando argila proveniente da mineração de gipsita e resíduo de gesso. *Acta Brasiliensis*, v. 3, n. 1, p. 25-29, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.22571/2526-4338145>>. Acesso em: 31 out. 2021.
- [23] MAURY, M.B.; BLUMENSCHNEIN, R.N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. 2012. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/12110>> Acesso em: 30 set. 2021.
- [24] CNI (Confederação Nacional da Indústria). (ABCP) Associação Brasileira de Cimento Portland. Indústria brasileira de cimento: Base para a construção do desenvolvimento / Confederação Nacional da Indústria. Associação Brasileira de Cimento Portland. – Brasília: CNI, 2012. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2013/09/23/4970/20131002162355200901e.pdf>. Acesso em: 30 de out. 2021.
- [25] FERRARI, R. Co-processamento de resíduos industriais em fornos de clínquer. Companhia de Cimento Itambé, Balsa Nova, 2002. Disponível em: <<http://coprocessamento.org.br/wpcontent/uploads/2019/09/Coprocessamento-apostila-Itambe2014.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2021.
- [26] ROCHA, S.D.F.; LINS, V.F.C.; ESPIRITO SANTO, B.C. Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 16, p. 1- 10, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522011000100003>>. Acesso em: 22 out. 2021.
- [27] CARPIO, R. C. Otimização no Co-processamento de Resíduos na Indústria do Cimento Envolvendo Custos, Qualidade e Impacto Ambiental. 2005. 194 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.
- [28] PAULA, L.G. Análise Termoeconômica do Processo de Produção de Cimento Portland com Co-processamento de Misturas de Resíduos. 2009. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009.
- [29] THOMAS, J.E. Fundamentos de engenharia de petróleo. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRÁS, 2001.
- [30] NASCIMENTO, K.L. Reutilização de resíduos da indústria petroquímica. *Anais II CONEPETRO...* Campina Grande: Realize Editora, 2016. Disponível em: <<https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/27046>>. Acesso em: 13 nov. 2021.
- [31] GUIMARÃES, A.K.V. Extração do óleo e caracterização dos resíduos da borra de petróleo para fins de reuso. Natal: UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte), 2007.
- [32] SILVA, C.M.M.A.; CHIANCA, C.G.C.; ANDRADE, I.M. A aplicação de processos químicos no tratamento de poluentes gerados pela extração e refino do petróleo. *Blucher Chemistry Proceedings*, v. 3, n. 1, p. 935-942, 2015. Disponível em: <<https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/a-aplicao-de-processos-quimicos-no-tratamento-depoluentes-gerados-pela-extrao-e-refino-do-petrleo-22151>>. Acesso em: 10 out. 2021.
- [33] SILVA, J.M.C.; BOZELLI, R.L.; SANTOS, L.F.; LOPES, A.F. Impactos Ambientais da Exploração e Produção de Petróleo na Bacia de Campos, RJ. 2008. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3427239/mod_resource/content/1/petrleo.pdf>. Acesso em: 27 out. 2021.
- [34] MARTINS, S.S.S.; SILVA, M.P.; AZEVEDO, M.O.; SILVA, V.P. Produção de petróleo e impactos ambientais: algumas considerações. Instituto Federal do Rio Grande do Norte. *HOLOS*, Ano 31, Vol. 6. 2015. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=481547289005>>. Acesso em: 31 out. 2021.
- [35] SILVA, G.C.S.; COSTA, G.A.A.F. Análise sobre o gerenciamento de resíduos industriais numa indústria petroquímica. XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP 2010). São Carlos, SP, Brasil, 12 a 15 de outubro de 2010.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 09:00 horas do dia dezessete de novembro de dois mil e vinte e um, na plataforma google meet, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria de **ANA CLARA ROCHA SILVA**, aluna do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, N° de matrícula **2018010176**, com o título **“PROCESSOS PRODUTIVOS INDUSTRIAIS: UMA ABORDAGEM GERAL DOS RESÍDUOS”**. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Profa. Dra. Cristian Kelly Moraes de Lima, presidente da banca e orientadora do Trabalho de Conclusão de Curso; profa. Dra. Geraldine Angélica Silva da Nobrega e profa. Me. Paula Katherine Leonez da Silva Valença, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, em reunião fechada, tendo a aluna sido considerada aprovada. E para constar, eu, Cristian Kelly Moraes de Lima, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 17 de novembro de 2021.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

CRISTIAN KELLY MORAIS DE LIMA:02004913428

Assinado de forma digital por CRISTIAN KELLY MORAIS DE LIMA:02004913428
Dados: 2021.11.23 16:24:23 -03'00'

Profa. Dra. Cristian Kelly Moraes de Lima – UFERSA
Presidente e orientador

GERALDINE ANGELICA SILVA DA NOBREGA:02201080488

Assinado de forma digital por GERALDINE ANGELICA SILVA DA NOBREGA:02201080488
Dados: 2021.11.24 16:34:27 -03'00'

Profa. Dra. Geraldine Angélica Silva da Nobrega – UFERSA
Primeiro Membro

PAULA KATHERINE LEONEZ DA SILVA VALENCA:04644765422

Assinado de forma digital por PAULA KATHERINE LEONEZ DA SILVA VALENCA:04644765422
Dados: 2021.11.24 18:07:41 -03'00'

Profa. Me. Paula Katherine Leonez da Silva Valença – UFERSA
Segundo Membro