

## VI-010 - SOLUÇÕES INTEGRADAS PARA QUESTÕES AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO ONSHORE DE PETRÓLEO: ESCASSEZ DE ÁGUA, PRODUÇÃO DE CAL E PRODUÇÃO DE CIMENTO

**Fellipe Fernando N. M Do Nascimento<sup>(1)</sup>**

Graduando em Engenharia de Petróleo e Gás pela Universidade potiguar – fellipe\_neves@hotmail.com

**Carlos Enrique de Medeiros Jerônimo**

Orientador Doutor em Engenharia Química. Professor da Universidade Potiguar – c\_enrique@hotmail.com

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Campos Sales, 855 Apt 102 – Edifício Luna Park - Tirol - Natal - RN - CEP: 59.020-300 - Brasil - Tel: +55 (84) 3207-1818 - Cel: +55 (84) 9998-2000 - e-mail: **fellipe\_neves@hotmail.com**

### RESUMO

Com o aumento da poluição ambiental e a dificuldade na administração do descarte dos insumos provenientes das atividades petrolíferas, este artigo propõe um modelo de rede sustentável de gestão de resíduos e emissões entre a produção industrial de coque verde petróleo, cimento, cal e óleo, onde o coque verde de petróleo é enviado para cimenteira que, irá usar uma parte como combustível no forno responsável pela formação do clínquer já a outra parte será submetida a um processo de moagem para, em seguida, ser enviada a uma estação de produção de óleo e gás onshore, para junto com a água produzida pelos poços de petróleo, ser co-processado num tipo de gerador que produzirá vapor que irá ser injetado nos poços afim do aumento do fator de recuperação de óleo dos mesmos. Por último, a cal virgem participa desse ciclo sendo injetado nos fornos produtores de clínquer, restando grande parte do  $\text{SO}_2$  no processo de combustão. Dentro desse cenário esse trabalho avaliou vários fatores relevantes para a viabilização de cada processo membro do ciclo obtendo um resultado de que seria bastante viável a adoção de tais métodos, tanto no âmbito industrial quanto no ambiental.

**PALAVRAS CHAVE:** Gestão de resíduos, Produção onshore, Emissão de  $\text{SO}_2$ .

### INTRODUÇÃO

Grandes quantidades de poluentes do ar e gases têm sido liberadas na atmosfera, colocando em risco a saúde humana, os ecossistemas naturais e o clima da Terra. Essa tendência é atribuída às atividades industriais e agrícolas (principalmente a queima de combustíveis fósseis, desmatamentos maciços, e em menor proporção a produção de cimento) que levam a um aumento do risco de aquecimento global, elevando significativamente a temperatura da Terra e criando situações propícias para o aumento do efeito estufa.

Os gases do efeito estufa são substâncias que absorvem parte da radiação infravermelha, emitida principalmente pela atmosfera terrestre, e dificultam seu escape para o espaço. Isso impede que ocorra uma perda demasiada de calor para o espaço, mantendo a terra aquecida (INSTITUTO CARBONO BRASIL, 2012). Entre os gases do efeito estufa, o que mais contribuiu para o forçamento radiativo do clima é o  $\text{SO}_2$  ( $\text{SO}_x$ ) dióxido de enxofre. A concentração atmosférica de dióxido de enxofre já aumentou de cerca de 25% desde os tempos pré-industriais. As emissões derivadas da queima de combustíveis fósseis tendem a crescer, ou se manter nos níveis atuais, levando à duplicação da concentração atmosférica em algum momento do próximo século. Daí a importância do  $\text{SO}_2$  no aumento anual do aquecimento global (MONTEIRO *et al.*, 2003).

Existe a necessidade de cooperação entre as nações, no sentido de estabelecer metas de redução para as emissões dos gases do efeito estufa, principalmente do  $\text{SO}_2$ , tendo em vista a estabilização de suas concentrações atmosféricas. A maior parte das estratégias para limitar estas emissões (como por exemplo, a melhoria da eficiência energética das tecnologias e a conservação de energia) é caracterizada pela prevenção das emissões futuras, sem que contribuam para assimilar as emissões do passado. Com o objetivo de reduzir os custos de produção relacionados à energia, a indústria cimenteira ampliou sua disposição para incinerar resíduos industriais nos fornos rotativos de clínquer de cimento, substituindo parte dos combustíveis convencionais por diversos tipos de resíduos gerados em outras unidades industriais. Essa possibilidade de substituição energética tem se desenvolvido nos últimos anos, tendo em vista, entre outros aspectos, a

preparação de *blends* compostos por misturas de diferentes tipos de resíduos, visando a uma maior eficiência energética. No caso específico desse trabalho, o resíduo a ser processado é o coque verde de petróleo que é um produto sólido, poroso, de cor negra, obtido a partir do craqueamento de óleos residuais pesados nas unidades de coqueamento retardado, nas quais é realizada a conversão de resíduos. Nestas unidades ocorre a destruição (quebra de moléculas) dos resíduos da destilação do petróleo, obtendo-se assim derivados claros. A refinaria de Abreu e Lima será uma produtora desse resíduo, e devido a sua relativa proximidade dos outros polos produtores membros desse ciclo proposto, também figura no mesmo.

No Rio Grande do Norte, que é um polo cimenteiro, verifica-se nas fábricas de cimento uma quantidade muito grande de emissões de  $\text{SO}_2$ , isso acontece devido ao processo de combustão que é usado para a criação do “clínquer”. Encontra-se, também, em solo potiguar, uma grande cadeia produtiva de cal: A maioria da cal produzida resulta da calcinação de calcários/dolomitos metamórficos de idades geológicas diferentes; geralmente muito antiga (pré-cambriana) e possui pureza variável. As cales provenientes de calcários sedimentares e de concheiros naturais recentes participam de maneira subordinada na produção.

O principal produto da calcinação das rochas carbonatadas cálcicas e cálcio-magnesianas é a cal virgem, também denominada cal viva ou cal ordinária. O termo cal virgem é o consagrado na literatura brasileira e nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, para designar o produto composto predominantemente por óxido de cálcio e óxido de magnésio, resultantes da calcinação, à temperatura de 900 a 1200 °C, de calcários, calcários magnesianos e dolomitos. A cal virgem é classificada conforme o óxido predominante como indicado a seguir:

- Cal virgem cálcica: óxido de cálcio entre 90% e 100% dos óxidos totais presentes;
- Cal virgem dolomítica: teores de cálcio entre 58% e 65% dos óxidos totais presentes.

No mercado global da cal, a cal virgem cálcica predomina, particularmente, pela sua aplicação nas áreas das indústrias siderúrgicas, de açúcar e de celulose. Todas elas são comercializadas em recipientes (plásticos, metálicos e outros) ou a granel, na forma de blocos (tal como sai do forno), britada (partículas de diâmetro 1 a 6 cm) ou moída e pulverizada (85% a 95% passando na peneira 0,150 mm). Outro tipo de cal muito comum no mercado é a cal hidratada. Ela é composta por um pó de cor branca resultante da combinação química dos óxidos anidros da cal virgem com a água. A cal hidratada, geralmente é embalada em recipientes plásticos ou em sacos de papel Kraft (com 8,20 Kg e 40 Kg do produto), possuindo granulometria de 85% abaixo de 0.075 mm. No Brasil, as diversificadas áreas de consumo de cal são supridas por mais de 200 produtores distribuídos pelo País. A capacidade de produção de suas instalações varia de 1 a 1000 toneladas de cal virgem por dia.

A utilização da cal hidratada é muito difundida, principalmente em argamassas para assentamento de tijolos e revestimento de paredes, devido a algumas características da cal, como as relativas à trabalhabilidade e durabilidade das argamassas.

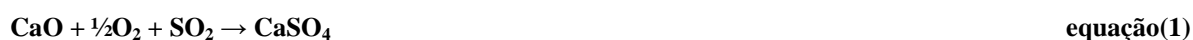
A cal hidratada tem características aglomerantes como o cimento, sendo que, enquanto o cimento reage com água (reação de hidratação do cimento), o endurecimento da cal aérea ocorre pelo contato com o ar. Essa reação transforma a cal hidratada num carbonato tão sólido quanto o calcário que a originou.

O uso da cal como aglomerante, no Brasil, deve-se: à dispersão geográfica das suas usinas de fabricação – face às ocorrências de calcários e dolomitos por quase todo o território nacional, à facilidade e abundância da sua oferta – ainda que para cales especiais, o suprimento às vezes implique transporte mais longo e ao seu baixo custo – o menor entre os reagentes químicos alcalinos e os aglomerantes cimentantes, componente que tem a propriedade de absorver o  $\text{SO}_2$  quando injetado na forma aquosa na reação de combustão, reduzindo as taxas desse tipo de emissão atmosférica.

Sabe-se que a produção onshore de petróleo no estado gera muita água, esse resíduo produzido (AP) é o efluente resultante dos processos de separação existentes nas estações coletoras e de tratamento na produção de petróleo. O crescente volume resultante constitui-se em um perigo potencial para o meio ambiente. Os riscos ambientais associados à AP podem variar em função da composição da água, das características do local em que ela ocorre e da sua disposição final (LACAVA, 2003).

A solução proposta por esse estudo foi concebida com base em pesquisas bibliográficas, onde primeiro, se estudou o status das emissões e gerações de resíduos das indústrias que pertencem ao contexto, dessa forma se obteve uma visão, analítica e criativa, do que se fazia necessário para viabilização de um ciclo de gerenciamento de emissões e resíduos sustentável, onde, o coque verde de petróleo produzido pela refinaria Abreu e Lima - PE é enviado para uma unidade de produção do cimento, localizada em Baraúnas, onde o mesmo será submetido a um processo de moagem em seguida parte dele será processado nos fornos rotativos da própria cimenteira a outra parte será enviada para o campo produtor de petróleo de Fazenda Belém que usará o coque verde de petróleo moído em conjunto com sua água produzida como insumos para a geração do vapor que será injetado nos poços de petróleo afim do aumento da recuperação. A cal por sua vez, é injetada no forno rotativo em conjunto com o coque verde de petróleo com o intuito de sua propriedade absorvente reter SO<sub>2</sub> proporcionando assim uma emissão menos nociva ao meio ambiente.

O processo de redução de emissão de SO<sub>2</sub> foi constatado através da injeção da cal hidratado em um combustor do tipo leito fluidilizado, por sua vez a cal foi injetado na parte inferior da câmara que após fluidilizada virou o ambiente propício para seguinte reação que elimina o SO<sub>2</sub> da emissão:



Esse modelo foi idealizado devido ao grande potencial poluidor que essas quatro atividades detêm, que como consequência, necessitam de medidas fundamentadas que diminuam de forma considerável seus índices poluidores. A integração das plantas produtivas: produção do cimento, produção de cal, produção de óleo e o refino do óleo, têm como objetivo principal otimizar o reuso dos resíduos e diminuir a quantidade de emissões nocivas ao meio ambiente, ambos sendo condição fundamental para diminuir o impacto ambiental causado por tais atividades.

Na criação da projeção, foram levadas em consideração as localidades da Refinaria de Abreu e Lima - PE, do polo petrolífero de Alto do Rodrigues – RN, da Fábrica de cal “ICAL” em Baraúna – RN e da Fábrica de Cimento “MIZU” também em Baraúna – RN. As organizações citadas são meramente exemplos que este trabalho usou para melhor ilustrar a descrição dos processos.

## **COQUE VERDE DE PETRÓLEO (CVP) PRODUZIDO NA REFINARIA ABREU E LIMA– PE: O COMPONENTE COMBUSTÍVEL**

O Coque Verde de Petróleo é um produto sólido, obtido a partir do craqueamento de óleos residuais pesados em unidades de conversão de resíduos denominadas Unidades de Coqueamento Retardado (UCR). Nesses locais é feita a destruição de resíduos da destilação de petróleo, principalmente Resíduo de Vácuo, com o objetivo de obtenção de derivados claros. Como co-produto deste processo é obtido o Coque Verde de Petróleo. A aplicação do CVP em cada segmento industrial é feita de acordo com a combinação de suas características com o processo industrial e, por isso, o mercado onde o Coque Verde de Petróleo tem aplicação é muito extenso, talvez se constituindo no produto (derivado direto do petróleo) com o maior potencial de utilização industrial (PETROBRAS, 2014).

A refinaria Abreu e Lima devido à carga de hidrocarbonetos que irá receber torna-se um potencial produtor de CVP, criando uma maior possibilidade de fornecimento desse produto a matriz energética nordestina.

Dentro do contexto do ciclo proposto pelo presente o estudo, o CVP exerce um papel fundamental. Segundo Santos (2007a), existe a alternativa do uso do CVP como combustível em processos que tenham condições de captura do SO<sub>2</sub>, gerando produtos que possam ser incorporados ao produto final, cuja especificação não fique comprometida. Este é o caso da indústria cimenteira, cujo ambiente reacional é termodinamicamente favorável à absorção do SO<sub>2</sub>, gerando produtos que serão incorporados ao clínquer (composto básico do cimento), sem prejuízo de suas propriedades. Diante dessa realidade, constata-se que o CVP pode atuar no projeto em duas frentes, como combustível: do forno rotativo que promove a clínquerização e, depois de passar por um processo de moagem, da caldeira responsável pela transformação da água oriunda dos poços produtores de petróleo em vapor que será usado para injeção nos mesmos.

O transporte do CVP acontece de forma rodoviária em caminhões caçamba, a comercialização se dá a granel onde a carga mínima é uma carreta equivalente 30 toneladas. Recomenda-se a utilização de correias transportadoras enclausuradas e de veículos com caçambas estanques e cobertas, visando minimizar a geração de poeiras fugitiva.

## **STATUS DA PRODUÇÃO DE ÁGUA NO SETOR DE ÓLEO E GÁS E SEU REAPROVEITAMENTO**

Água, um dos principais recursos naturais, indispensável à vida e um elemento fundamental em vários processos produtivos. O que, portanto, o uso eficiente desse recurso necessário à garantia do mesmo para as gerações futuras, como discorre a conceito de sustentabilidade, bem como, para o desenvolvimento e economia de uma nação.

A indústria do petróleo, para exploração de recursos naturais (óleo e gás natural), utiliza a água na realização das suas atividades e gera efluente cujo principal resíduo da extração de petróleo é a própria água. Água produzida é o maior volume de subprodutos, ou fluxo de resíduos, associados à exploração e produção de petróleo e gás natural. Aproximadamente 21 bilhões de barris (barris; 1 bbl = 42 galões norte-americanos) de água produzida são gerados a cada ano nos Estados Unidos de quase um milhão de poços. Isso representa cerca de 57 milhões de barris/dia, 2,4 bilhões de litros/dia, ou 913.000 m<sup>3</sup>/dia. Mais de 50 bilhões de barris de água produzida são gerados a cada ano em milhares de poços em outros países. O custo de administrar um volume de água tão alto é um fator chave para produtores de petróleo e gás natural.

A quantidade de água produzida associada com o óleo pode alcançar entre 50% e 100% (em volume) ao fim da vida econômica dos poços. Em um dia, para cada m<sup>3</sup>/dia de petróleo produzido são gerados três a quatro m<sup>3</sup>/dia de água, tem campos que este número se eleva a sete ou mais. Nas atividades de exploração, perfuração e produção a água produzida responde por 98% de todos os efluentes gerados.

Água produzida com óleo é um efluente cujo descarte ou o uso tem de ser feito com os devidos cuidados para não agredir o meio ambiente. Há regulamentação específica para a extração de água subterrânea na produção do petróleo e do gás natural, a qual caracteriza a água de injeção e água produzida. Neste contexto, é primordial o gerenciamento deste recurso nos campos de exploração de petróleo, no sentido do melhor controle do uso e redução ao desperdício de água nos processos de E&P.

O presente estudo inclui dentro do ciclo produtivo um conceito já testado e com ótimos resultados. Consiste no uso da água produzida pelos poços de petróleo como insumo principal para geração de vapor, restringindo o uso de aquíferos como o do Açú, que abastece boa parte do semiárido brasileiro. Para que a água produzida esteja apta para vaporização, ela necessita que sua dureza seja diminuída, isso ocorre via abrandamento químico e através de alterações nos processos de coagulação/floculação/flotação. Estas implementações são realizadas na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), deixando a água produzida própria à geração de vapor, após passagem pelo polimento final na Unidade de Tratamento de Água (UTA) (PEREIRA JUNIOR *et al.*, 2008).

O que este trabalho propõe é que essa água pós-tratada seja transportada para um gerador de vapor que terá como combustível o CVP moído para o processo de produção de vapor. O produto gerado por esse processo é o vapor a ser injetado nos poços produtores de petróleo, que tem como objetivo melhorar o fator de recuperação e elevar a produção desses poços maduros.

## **MOAGEM DO COQUE VERDE DE PETRÓLEO, SEU USO E O DA ÁGUA PRODUZIDA COMO INSUMOS PARA GERAÇÃO DE VAPOR**

O processo de moagem do coque inicia-se com a sua retomada do pátio de estocagem, por meio de transportador de correia, e seu envio ao silo de alimentação do moinho quando é conduzido por transportadores de correia para o moinho de carvão (nome dado ao moinho do coque).

O moinho de carvão é um moinho em tubo cilíndrico tipo bolas e seus corpos moedores são esferas de aço de vários tamanhos. O coque e o atrito entre os corpos moedores em decorrência do movimento de giro do moinho resultam na pulverização do material que é o produto final (combustível em pó).

Os gases quentes provenientes do resfriador de clínquer ou da calcinação são utilizados tanto para realizar a secagem do material, visto que o mesmo contém umidade, quanto para fazer o arraste das partículas moídas até o separador.

O material moído (partículas finas e grossas) juntamente com os gases que saem do moinho é conduzido através de tubulações ao separador, onde as partículas finas (produto final ou combustível em pó) são enviadas ao filtro de mangas e as partículas grossas (produto semipronto) retornam ao processo para nova passagem pelo moinho.

No filtro de mangas as partículas finas são separadas dos gases e conduzidas através de transportadores para o silo de armazenagem de coque moído (carvão moído), ao passo que os gases isentos de partículas são liberados para a atmosfera.

O combustível moído é extraído do silo de armazenagem por dosadores rotativos de alta precisão, e enviado aos pontos de consumo por sistema de transporte pneumático, sendo o ar de transporte gerado por sopradores. Pelo fato do combustível pulverizado ser explosivo, a instalação é provida de válvulas de alívio e de analisadores de gases (CO/O<sub>2</sub>), a partir da saída do separador até o silo de armazenagem.

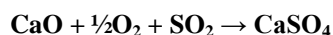
O processo de produção do cimento não gera resíduo, pois todos os materiais captados nos sistemas de desempoeiramento (filtro de mangas e eletrofiltros) voltam ao processo de produção.

O pó gerado ao longo deste processo é coletado e eliminado com exaustores e filtros de mangas de funcionamento automático.

A água produzida nos poços de petróleo que será aproveitada no sistema entrará em um gerador que terá como combustível o coque de petróleo e sairá no próprio sistema como forma de vapor para auxiliar no processo (CORREIA; JERÔNIMO, 2012).

## **RELAÇÃO ENTRE O CAL E O COQUE VERDE DE PETRÓLEO NO PROCESSO DE COMBUSTÃO DO FORNO RESPONSÁVEL PELA GERAÇÃO DO CLÍNQUER**

De acordo com Santos (2007b), a adição de absorventes como o cal virgem (CaO) ou cinzas aditivadas com alto teor de óxido de cálcio, pode absorver alguma quantidade de SO<sub>2</sub> contido nos gases exaustos. A injeção desses materiais alcalinos pode ser feita na forma seca ou na forma úmida nos fornos responsáveis pela geração do clínquer. Esta técnica permite a absorção de SO<sub>2</sub> em moderadas concentrações na corrente gasosa. Essa absorção acontece segundo a seguinte reação:

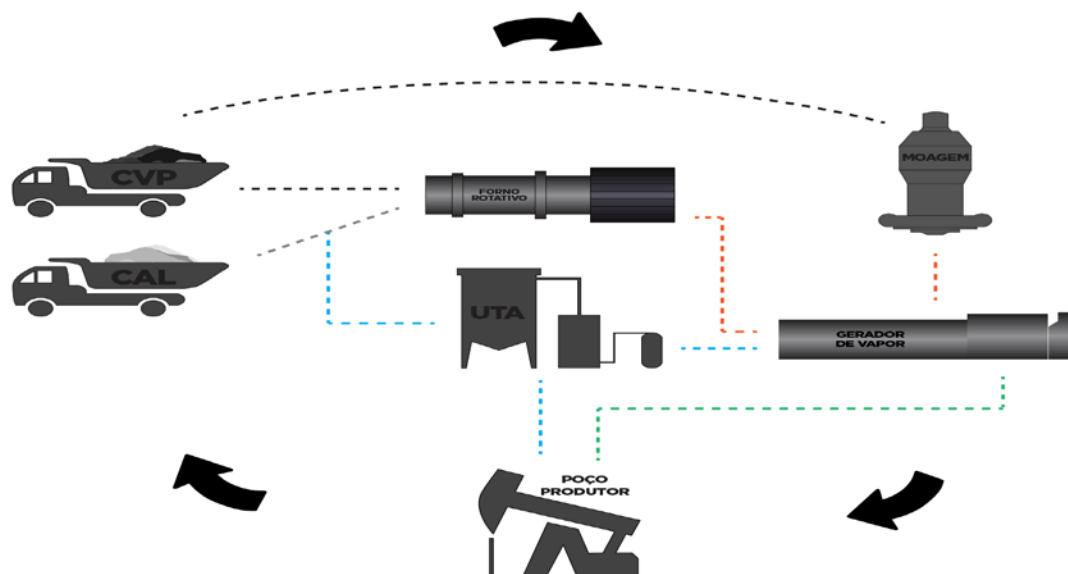


equação (2)

O produto dessa reação é o sulfato de cálcio, aditivo importante que dá ao clínquer uma propriedade chamada de “tempo de pega” que controla o tempo de endurecimento do cimento ao entrar em contato com água. (LACAVA, 2003).

Com base nessas informações, o estudo propõe que o cal seja transportado da “ICAL” para que seja injetado com o CVP no forno de queima de clínquer presente na fábrica “MIZU”.



**CICLO PROPOSTO**

**Figura 1: Ilustração do ciclo proposto pelo trabalho.**

**Fonte: Autor.**

Sobre a ótica do ciclo e revisando os conceitos já abordados temos:

- Em sua primeira frente: O coque verde de petróleo sendo injetado junto com cal no forno rotativo da fábrica de cimento, isso gera a retenção do  $SO_2$  e como consequência da reação química tem a produção do sulfato de cálcio, importante aditivo do cimento.
- Na sua segunda frente: O coque verde petróleo e enviado para o moinho de carvão, também localizado na fábrica de cimento, onde será submetido ao processo de pulverização para em seguida ser enviado para a planta de produção de óleo onde será usado como combustível do gerador de vapor.
- A água produzida de forma residual nos poços de petróleo e enviada para unidade de tratamento e, ao invés de ser descartada, é enviada para o gerador de vapor, o mesmo que vai usar o coque verde de petróleo como combustível. De posse do combustível (CVP) e da matéria prima (água produzida) o gerador vai gerar o vapor que será injetado nos poços produtores aumentando as taxas de produção de óleo dos mesmos, com mais óleo produzido mais carga a refinaria vai estar recebendo, logo, mais coque verde petróleo ela vai produzir dando uma nova rotatividade ao ciclo.

Essa ilustração é a síntese de todos os conceitos abordados nesse trabalho, onde foram analisadas as características de cada uma das quatro indústrias e com nelas foi definida como seria a participação de cada uma, pode-se dizer também que essa figura é o mapeamento de como seria essa integração.

**CONCLUSÃO**

Neste trabalho, foi analisado o perfil da produção cimenteira e de cal no estado do Rio Grande do Norte, propondo um ciclo sustentável e integrado, tendo como insumos do processo o coque verde de petróleo e a abundante água produzida nos poços maduros presentes nos mais variados poços produtores de petróleo no estado.

O setor cimenteiro nacional utiliza-se em várias partes do coque de petróleo como fonte energética do sistema, gerando uma grande emissão de  $SO_2$  à atmosfera, devido à queima do coque.

De acordo com o que foi exposto no trabalho, uma solução possível para diminuir significativamente essa emissão seria a mistura da cal na queima coque de petróleo, que além de barrar parte dessa emissão de SO<sub>2</sub> para a atmosfera, ainda resulta em um aditivo importante para o clínquer. Integrando a grande indústria produtora de cal no estado com a vasta produção de cimento.

Devido à situação dos poços de petróleo no estado encontrar-se em declínio de produção, por serem poços maduros, com muitos anos em funcionamento, produzindo assim uma grande quantidade de água na maioria dos poços.

A solução proposta por esse trabalho foi a de reaproveitamento da água produzida pelos poços produtores de petróleo como insumo para o processo de produção de vapor. Depois de devidamente tratada e passar pela ETE (Estação de Tratamento de Efluentes) essa água seria transformada em vapor, em um sistema que teria o coque como principal combustível para a realização. O principal destino desse vapor seria a sua reinjeção nos poços produtores de petróleo, para melhorar o seu fator de recuperação.

Diante dos fatos expostos no decorrer do trabalho, chega-se a uma situação bastante favorável a integração de tais setores sugeridos no desenvolvimento do presente estudo: a indústria cimenteira, a indústria de produção de cal e o reaproveitamento dos insumos provenientes das atividades petrolíferas onshore no estado, visando ao combate a importantes questões ambientais desenvolvidas por essas atividades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CARVALHO JÚNIOR, João Andrade de; LACAVA, Pedro Teixeira. **Emissões em processo de combustão**. São Paulo: UNESP, 2003. Disponível em: <[http://177.135.217.86:8081/sg\\_web/anexos/IntEngAmb/Emissoes%20em%20processos%20de%20combustao.pdf](http://177.135.217.86:8081/sg_web/anexos/IntEngAmb/Emissoes%20em%20processos%20de%20combustao.pdf)>. Acesso em: 27 set. 2014.
2. CORREIA, Balbina; JERÔNIMO, Carlos Enrique. Oportunidades de produção mais limpa no consumo de recursos hídricos na exploração & produção de petróleo on shore no estado do rn. **Rev. Elet. em Gestão, educação e tecnologia Ambiental**, v. 7, n. 7, p. 1335–1348, 2012. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/view/5715>>. Acesso em: 12 nov. 2014.
3. INSTITUTO CARBONO BRASIL. **Gases do Efeito Estufa**. Disponível em: <[http://www.institutocarbonobrasil.org.br/mudancas\\_climaticas/gases\\_do\\_efeito\\_estufa](http://www.institutocarbonobrasil.org.br/mudancas_climaticas/gases_do_efeito_estufa)>. Acesso em: 20 set. 2014.
4. MONTEIRO, Aline G. et al. **Avaliação comparativa do abatimento das emissões de co 2 a partir de atividades sustentáveis no setor energético, de transportes e florestal no brasil**. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/13-8906c37bcae74ec3ff9bb0e64c62d53b.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2014.
5. PETROBRAS. Produtos. Para indústrias e termelétricas. Coque verde de Petróleo. Disponível em: <[http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/paraindustriasetermeletricas/coqueveredepetroleo!/ut/p/c4/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N\\_P293QwN3AyM3AyMfNy8LfxdHAWMDc\\_2CbEdFAN9fqmc!](http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/paraindustriasetermeletricas/coqueveredepetroleo!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwN3AyM3AyMfNy8LfxdHAWMDc_2CbEdFAN9fqmc!/)>. Acesso em: 23 out. 2014.
6. SANTOS, Aldo Ramos. **A geração de coque de petróleo devido ao processamento de petróleos pesados eo seu uso na produção de clínquer de cimento portland**. Itajubá, 2007. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. 2007. Disponível em: <<http://saturno.unifei.edu.br/bim/0032856.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2014.
7. SANTOS, Fabiane Binsfeld Ferreira dos. **Dissolução do calcário no processo de dessulfurização de gases de combustão: abordagem experimental e numérica**. Florianópolis, 2007. 128f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/90103/248685.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 19 nov. 2014