



VOLUME 01

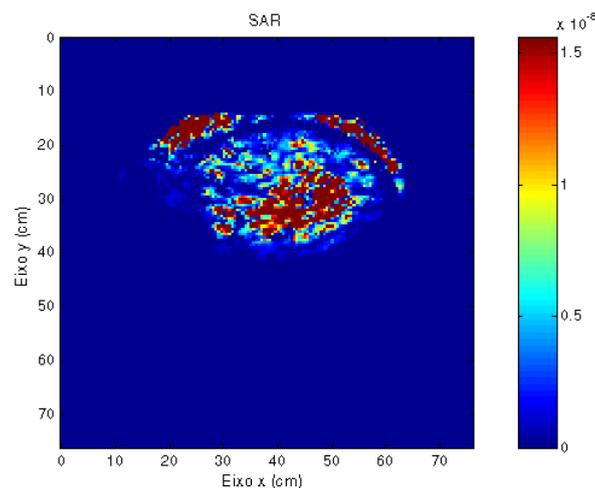
MARÇO 2015

ISSN 2447-0228



ITEGAM - JOURNAL OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS (JETIA)

Editor-in-Chief: J.C. Leite



Available online at www.itegam-jetia.org





ITEGAM

Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (JETIA)

ISSN xxxx-xxxx Online



O **ITEGAM-JETIA – Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (JETIA)** é uma publicação do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM), localizado na cidade de Manaus desde 2008. **ITEGAM-JETIA** publica artigos científicos originais que cobrem todos os aspectos de engenharia. Nosso objetivo é a divulgação da investigação original, útil e relevante apresentando novos conhecimentos sobre aspectos teóricos ou práticos de metodologias e métodos utilizados em engenharia ou que levam a melhorias nas práticas profissionais. Todas as conclusões apresentadas nos artigos deve basear-se no estado-da-arte e apoiada por uma análise rigorosa atual e uma equilibrada avaliação. A revista publica artigos de pesquisa científica e tecnológica, artigos de revisão e estudos de caso.

O **ITEGAM-JETIA** abordará temas das seguintes áreas do conhecimento: Engenharia Mecânica, Engenharia Civil, Materiais e de Mineralogia, Geociências, Meio Ambiente, Sistemas de Informação e Decisão, Processos e Energia, Elétrica e Automação, Mecatrônica, Biotecnologia e outras áreas relacionadas à Engenharia.

· **Informações da Publicação:**

ITEGAM-JETIA (ISSN 2447-0228), online) é publicado pelo Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM), com uma periodicidade trimestral (março, junho, setembro, dezembro).

Informações para Contato:

Página da WEB: www.itegam-jetia.org

E-mail: editor@itegam-jetia.org ou secretaria@itegam-jetia.org

ITEGAM – Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia.

Avenida Joaquim Nabuco, N.º. 1950. Centro. Manaus – Amazonas - Brasil.

CEP: 69020-031. Fone: (92) 3584 – 6145 e 3248 – 2646.

Copyright 2014. Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM)

A reprodução total ou parcial de textos relacionadas aos artigos é permitida, somente no caso da fonte seja devidamente citada. Os conceitos e opiniões expressas nos artigos são de responsabilidade exclusiva dos autores.

Aviso prévio

Todas as declarações, métodos, instruções e ideias são apenas responsabilidade dos autores e não representam, necessariamente, a vista do ITEGAM-JETIA. A editora não se responsabiliza por qualquer prejuízo e/ou danos para a utilização dos conteúdos deste periódico. Os conceitos e opiniões expressas nos artigos são de responsabilidade exclusiva dos autores.

Diretório

Membros do Centro Editorial do ITEGAM – Journal of Engineering and Technology for Industry Applications (ITEGAM-JETIA) do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) – Manaus/Amazonas/Brasil.

Tereza Rodrigues Felipe, Diretor – Presidente

Jandecy Cabral Leite, Coordenador Editorial

Elcimar Souza Correa, Assistente Editorial

Orlewilson Alysson Figueiras da Silva, Diagramador Gráfico Editorial

Rildo de Mendonça Nogueira, Assistente de Tecnologia da Informação



SUMÁRIO

<i>Ciência e Modernidade: Uma crítica necessária</i>	04
<i>Dorli João Carlos Marques, Iracelma Magalhães da Costa Marques</i>	
<i>Limestone calcination optimization of vertical container oven</i>	11
<i>Alexis Sagastume Gutiérrez</i>	
<i>Geração Fotovoltaica aplicada em comunidades de sistemas isolados na Amazônia</i>	21
<i>Rômulo Pereira Cabral, Marcos Cesar Alves Pimentel e Jandecy Cabral Leite</i>	
<i>Evaluación preliminar de las potencialidades de ahorro de agua mediante acciones de PML en “cementos cienfuegos” SA.</i>	31
<i>Juan Jose Cabello Era, Arturo Alvares Acevedo, Alexis Sagastume Gutiérrez, Jorge Luis Romero Cabrera e Yabiel Pérez Gómez</i>	
<i>Estudo da qualidade e confiabilidade do processo reflow de componentes de tecnologia de soldagem BGA</i>	38
<i>Robson Marques Costa, Jandecy Cabral Leite, Antonio da Silva Vieira, Raimundo Valdan Pereira Lopes e Roberto Tetsuo Fujiyama</i>	
<i>Gasificación isotérmica com octave</i>	44
<i>Mario Matiauda, Juan B. de León Benítez, Luis Ernesto Arteaga, Nora Freaza, Marta Rivero e Carlos Yachecen</i>	
<i>Sistema de Gestão eficiente da energia, ou as tecnologias de sequestro e armazenamento de carbono como uma alternativa viável para reduzir as emissões de CO₂ no curto prazo</i>	51
<i>Tirso Lorenzo Reyes Carvajala, Candido Quintana Pérezb e Ana Emilia Diniz Guedes</i>	
<i>Combustión en lecho fluidizado de pellets de aserrín</i>	59
<i>Mario Matiauda, Juan B. de León Benítez, Nora Freaza e Marta Rivero</i>	
<i>Characterization of the Specific Absorption Rate of the Cell Phone in the Human Head, Using the LN-FDTD method</i>	65
<i>Adelson Bezerra de Medeiros e Jandecy Cabral Leite</i>	
<i>Análises de impactos harmônicos oriundos dos processos de manufatura de uma indústria de eletroeletrônica utilizando KDD e árvores de decisão</i>	71
<i>Rildo de Mendonça Nogueira, Edson Farias de Oliveira, Waterloo Ferreira da Silva, Ádamo L. Santana, Maria Emília de Lima Tostes e Thiago Mota Soares</i>	



Science and Modernity: A Critical Needs

Dorli João Carlos Marques¹, Iracelma Magalhães da Costa Marques²

¹*Doutor em Biotecnologia pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Professor do Mestrado em Segurança Pública, Cidadania e Direitos Humanos da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e do Centro Universitário do Norte (UNINORTE). E-mail: dorlimarques@yahoo.com.br.*

²*Acadêmica de Direito do Centro Universitário do Norte (UNINORTE). E-mail: iracelmamarques@yahoo.com.br*

ABSTRACT

Modern science has no basis of positivist epistemological and methodological foundations sufficient for building a comprehensive understanding of the world of man and society. A study of contrasts to the paradigms of science, technology and modern rationality expressed the thoughts of Jürgen Habermas, Herbert Marcuse, Martin Heidegger, Theodor Adorno, Max Horkheimer, and Boaventura Santos Souza was conducted. We used a dialectic approach to highlight the contradictions and limitations of this paradigm and highlight other paradigms of positivist epistemological basis not carry that enabled the overcoming of knowledge as regulation by knowledge empowerment. It was evident, based on the theories of these authors and arguments of researchers such as Albert Einstein, Ilya Prigogine, Michel Foucault, among others, that modern science has methodological limitations Cartesian basis and fragile epistemological basis when trying to conceive man, world and society while dynamically articulated.

Keywords: science; modernity; epistemological crisis.

Ciência e Modernidade: Uma Crítica Necessária

RESUMO

A ciência moderna de base positivista não apresenta fundamentos epistemológicos e metodológicos suficientes para a construção de uma compreensão ampla do mundo, do homem e da sociedade. Foi realizado um estudo das contraposições aos paradigmas da ciência, técnica e racionalidade modernas, expressas nos pensamentos de Jürgen Habermas, Herbert Marcuse, Martin Heidegger, Theodor Adorno, Max Horkheimer, e Boaventura Souza Santos. Utilizou-se uma abordagem dialética para evidenciar as limitações e contradições desse paradigma e destacar outros paradigmas de base epistemológica não positivista que possibilitassem proceder a superação do conhecimento enquanto regulação pelo conhecimento emancipação. Evidenciou-se, com base nas teses dos autores supracitados e de argumentos de pesquisadores como Albert Einstein, Ilya Prigogine, Michel Foucault, entre outros, que a ciência moderna de base cartesiana apresenta limitações metodológicas e base epistemológica frágil quando se busca conceber homem, mundo e sociedade enquanto dinamicamente articulados.

Palavras-chave: ciência; modernidade; crise epistemológica.

científicas cristalizadas pelos longos períodos de seu manuseio irrefletido. Portanto, esses processos não ocorrem passivamente.

1. INTRODUÇÃO

O trabalho com o conhecimento possui uma complexidade muitas vezes negligenciada. Conhecer é antes de tudo interagir com o mundo e com o outro. Nessa tarefa, vamos construindo sentidos e nos fazendo sujeitos num processo permanente de autoconstrução, permeado tanto pelos conflitos próprios das interações quanto pelo enfrentamento das verdades

Entende-se que esse enfrentamento passa por dois momentos: a elaboração de uma revisão dos marcos teórico-conceituais da ciência moderna e uma avaliação dos paradigmas emergentes, notadamente aqueles que levem em consideração a complexidade do mundo real. O objetivo principal do artigo é contribuir para a ampliação das condições de emergência de uma nova epistemologia que supere, dentre outras, a visão dicotômica de ciência que separa em universos distintos homem

e natureza e que banaliza e/ou confunde conceitos básicos no campo epistemológico.

Entende-se que esta discussão se faz necessária em todos os contextos onde tais questões se apresentem, porém no contexto amazônico, além de necessária ela é urgente. Na Amazônia é superlativo tanto a diversidade natural quanto a pluralidade sociocultural, além da fragilidade e os riscos a que os integrantes da sociobiodiversidade estão expostos.

A matriz epistemológica justificadora da lógica socioeconômica, política e cultural que tem sido posta em prática na região, tanto por setores da iniciativa privada quanto parte do setor público não deixa dúvidas quanto aos riscos que a vida, em sentido lato está submetida. Exemplos dessa lógica podem ser constatados a partir dos estudos de impactos socioambientais nas áreas onde se instalaram os megaprojetos agropecuários, de mineração, de geração de energia etc, que têm sido implementados na região e amplamente estudados por pesquisadores, como [1][2][3][4], entre outros.

2 GÊNESE E TRAJETÓRIA DA CRÍTICA À CIÊNCIA E À MODERNIDADE

Falar em crítica da ciência e da modernidade é remeter-se, necessariamente, à Escola de Frankfurt, importante centro de estudos sobre a pós-modernidade e da crítica às teorias experimentais e empíricas hegemônicas. Essa Escola teve como principais participantes, em um primeiro momento, Max Horkheimer [1895 – 1973], Theodore Adorno [1903 – 1969] e Herbert Marcuse [1898 – 1979], Walter Benjamin [1892 – 1940] e Siegfried Kracauer [1889 -1966]. Eles postularam uma teoria crítica imbricada no processo de mudança histórica, tanto no que se refere a perspectivas analíticas ao presente, quanto uma consciência de futuro.

Em tese publicada em 1947 sob o título de *Dialética do Esclarecimento*, Theodor Adorno e Max Hockheimer, desenvolvem o conceito de “indústria cultural”, denunciando as artimanhas de grupos conservadores, cuja intenção era a de impedir a formação de indivíduos autônomos, independentes, capazes de julgar e de decidir conscientemente.

Posteriormente, essa tese foi retomada por Herbert Marcuse acrescentando, em tom de denúncia, um dos eixos de legitimação dessa lógica: a indústria cultural leva a uma massificação cultural através da qual os indivíduos são induzidos a crer numa ideia comum e não em ideias diversificadas. A cultura torna-se uma indústria não só por ser organizada ao longo das linhas de produção e distribuição de massas; ela também

torna os produtos numa extensão da lógica do trabalho, controlando formas válidas de diversão e integrando-as no ciclo de produção e de consumo.

No mesmo diapasão Jürgen Habermas, traz à baila a noção de racionalidade proposta por Max Weber. Para Habermas, aquilo que Max Weber chamou de “racionalização” contraditoriamente não insere a ideia de racionalidade e em seu nome está o interesse de dominação política oculta. Por isso, propõe que o conceito de racionalidade de Weber seja reestruturado, já que “Max Weber introduziu o conceito de racionalidade para definir forma de atividade econômica capitalista, do tráfego social regido pelo direito privado burguês e da dominação burocrática” [5].

Na proposta de Weber, a progressiva racionalização da sociedade depende da institucionalização do progresso técnico e científico. A técnica e a ciência ao progredirem invadem as esferas institucionais da sociedade, modificando as próprias instituições. O processo de secularização e o enfraquecimento das cosmovisões seriam reflexos da crescente racionalidade da ação social.

Ressalte-se, conforme explicitado anteriormente, que aquilo a que Weber chamou de racionalização, não se refere à racionalidade como tal, mas uma forma determinada de dominação política velada por diversos mecanismos de dominação. Nesse sentido, é pedagógico o conceito de razão técnica e sua inter-relação com o conceito de ideologia apresentado por [5]:

Não só na sua aplicação, mas já a própria técnica é dominação metódica, científica, calculada e calculante (sobre a natureza e sobre o homem). Determinados fins e interesses da dominação não são outorgados à técnica apenas ‘posteriormente’ e a partir de fora - inserem-se já na própria construção do aparelho técnico; a técnica é, em cada caso, um projeto histórico-social; nele se projeta o que uma sociedade e os interesses nela dominantes pensam fazer com os homens e com as coisas.

De acordo com o autor em questão, nas sociedades capitalistas hegemônicas a dominação tende a abandonar seu caráter explicitamente explorador e opressor e disfarçar-se de racional, numa clara estratégia de dominação política. Tal estratégia se concretiza através de práticas como a repressão, a sujeição dos indivíduos à lógica de produção e distribuição dos bens, a desprivatização do tempo livre e a fusão do trabalho social produtivo e destrutivo. Para que essa repressão do espírito humano possa perdurar por um tempo maior, a indústria cultural entra em cena com todo o seu aparato ideológico numa tentativa

de fazer desaparecer das consciências dos indivíduos a sensação de repressão por conta de uma nova forma de legitimação: a ilusão de que o aumento da produtividade e do domínio sobre a natureza vem acompanhado de níveis mais confortáveis de vida para todos os indivíduos.

Deve-se atentar também para o aspecto apologético dessa dúvida racionalidade onde as forças de produção podem se justificar como “um enquadramento institucional funcionalmente necessário” [5]. À medida que a racionalidade tem sua eficiência apologética aumentada, reduz-se o seu papel de instrumento de crítica, rebaixando-a a mero corretivo dentro do sistema.

Até mesmo o instrumental metodológico da ciência tem um papel a desempenhar nessa lógica de dominação: “O método científico, que levava sempre a uma dominação cada vez mais eficaz da natureza, proporcionou depois também os conceitos pretensamente puros e os instrumentos para uma dominação cada vez mais eficiente do homem sobre os homens, através da dominação da natureza” [5]. Mais do que isso, o autor em questão destaca que, a dominação perpetua-se não somente “mediante a tecnologia”, mas “como tecnologia”. A tecnologia fornece legitimação ao poder político, que passa a controlar todas as esferas da cultura.

O autor em tela completa o raciocínio ressaltando a importância de atentar para transformação do conteúdo político da razão técnica em ponto de partida analítico para compreender a sociedade tardo-capitalista afirmando que “não se pode pensar numa emancipação sem antes revolucionar a própria ciência e técnica” [5].

Uma das possibilidades de transformação profunda da ciência e da técnica é o reencontro da ciência e da técnica com a ética. A ciência e a técnica englobariam conhecer a vida, o homem, a natureza, o universo num exercício reflexivo sobre o sentido da ciência e da técnica no mundo, já que ambas são atividades humanas e não há como conhecer sem valorar, isto é, o valorar é parte intrínseca do conhecer.

Nesse contexto, outras formas de conhecimento, notadamente os conhecimentos das populações tradicionais, não podem ser desconsideradas pela ciência e pela técnica ditas modernas, pois possuem elevado valor simbólico para as populações tradicionais, dando sentido especial às suas existências. A fauna, a flora, a terra, as formas do relevo, os astros, os rios, igarapés, lagos e tudo o mais que os rodeia são carregados de simbolismo.

No diapasão de Habermas, Herbert Marcuse segue questionando o conceito de ciência, apesar de não chegar a deduzir a ideia de uma nova técnica. Ele propõe outra atitude perante a natureza: ao invés de se tratá-la como objeto de uma disposição possível, propõe considerá-la como a interlocutora de uma possível interação. Em vez da natureza explorada, pode-se buscar a “natureza fraternal” [6].

A defesa do fim das imposições presente no pensamento de ambos remete à ideia de autonomia, um dos princípios teleológicos básicos presentes nos estudos da ética em geral e da bioética em particular. A esse respeito, [6] assevera que a técnica e a ciência cumprem ainda hoje uma função legitimadora da dominação, acrescentando que a regulação do processo econômico pela intervenção do Estado surgiu muito mais em razão de controlar as disfunções que ameaçavam o sistema capitalista quando abandonado a si mesmo do que efetivamente reduzir as desigualdades socioeconômicas. O autor ainda salienta que a evolução do capitalismo também estava em contradição com a ideia de uma sociedade civil que se emancipa da dominação e neutraliza o poder.

Também é merecedora de uma apreciação crítica mais detalhada a ideia de troca - justificadora do capitalismo. Ensina [4] que a troca processada nesses moldes, surge da necessidade de uma nova legitimação. Contudo, essa legitimação já não pode deduzir-se de uma ordem apolítica, isto é, das relações de produção.

Dessa forma, a ideologia capitalista é substituída por um programa substitutivo que se orienta pelas consequências sociais, não da instituição do mercado, mas de uma atividade estatal que compensa as disfunções do intercâmbio livre. Esse programa une a ideologia burguesa do rendimento à garantia de um mínimo de bem-estar, da estabilidade no trabalho e nos rendimentos.

Nesse contexto, a política assumiria um papel não dignificante, de mera prevenção das disfuncionalidades do sistema. Como resultado, a atividade estatal passaria a se restringir a tarefas técnicas resolúveis administrativamente, abandonando as questões mais complexas. Como consequência, ter-se-á um processo sempre crescente de despolitização do conjunto dos atores sociais, uma vez que se excluem as questões práticas e a discussão pública dos critérios técnicos.

Quando as decisões acontecem a partir de uma imposição, onde as bases não têm participação efetiva, a técnica e a ciência, aqui entendida como uma consciência positivista imperante e articulada como consciência tecnocrática, passam a assumir a posição de uma ideologia que às vezes substitui as

ideologias burguesas decadentes fazendo-as ressurgir com outra feição, não raro buscando justificá-las. Essa lógica, porém, quando tem sua trajetória analisada atentamente, expressa o que [6] classificou como irracionalidade da sociedade capitalista.

Para este autor, a irracionalidade da sociedade moderna reside no fato de ser produto de uma vontade particular, o capitalismo, e não de uma vontade geral e autoconsciente. Essa visão, apesar de apresentar traços do romantismo do século XVIII e do socialismo utópico do século XIX, traz em seu bojo evidente influência do marxismo, na medida em que evidencia a contradição fundamental e totalizante entre o caráter social da produção e o caráter privado da apropriação, que conduz a um antagonismo irreduzível entre as duas classes principais da sociedade capitalista: a detentora do capital e da “moderna” tecnologia e os empobrecidos por esse mesmo sistema. Nesse sentido, observa-se que a crítica esboçada pelo autor supracitado, tende a conceber a sociedade como uma totalidade, requerendo uma alternativa igualmente totalizante à sociedade existente.

A apreensão desse cenário, a partir das perspectivas propostas por Habermas, Marcuse, Hockheimer e outros, evidencia a necessidade de apresentar e/ou construir alternativas que superem esse modelo. Entende-se que alguns caminhos já foram percorridos nesse sentido; entretanto, há muito por caminhar.

3. Alguns caminhos possíveis para a superação da ciência e da racionalidade modernas

A construção caminhos alternativos aos da ciência, da técnica e da racionalidade modernas requer zelo epistêmico. As concepções totalizantes – na medida em que buscam abarcar o todo social em um princípio único de transformação social, um conjunto dos agentes coletivos e o complexo de relações de poder presentes no conjunto de relações sociais – se não oportunizar ao conjunto dos atores procederem ao que [8] chama de “emancipação social”, corre-se o risco de incorrer-se na armadilha da “regulação social”, própria das visões funcionalistas da sociedade e das concepções epistêmicas próprias ao cientificismo moderno que se busca superar.

A esse respeito, [8], outro importante crítico da ciência dita moderna, afirma que não há saída emancipatória possível dentro do regime da verdade imposto pela ciência moderna, já que a resistência transforma, ela própria, num poder disciplinar e, portanto, numa opressão consentida e interiorizada. O autor em tela mostra, de maneira cristalina, as opacidades e os silêncios produzidos pela ciência moderna, postulando ser necessário a busca de regimes de verdade alternativos, outras formas de

conhecer até então marginalizadas, suprimidas e desacreditadas pela ciência moderna.

No diapasão de [8] [9] assevera que “o nosso lugar é hoje um lugar multicultural, um lugar que exerce uma constante hermenêutica de suspeição contra supostos universalismos ou totalidades”. Essa visão de mundo, de homem e de sociedade entende que não há um princípio único de transformação social e sim variadas possibilidades de princípios e futuros; não há sujeitos históricos únicos nem uma forma única de dominação. São múltiplas as faces da dominação e da opressão o que requer, obviamente, múltiplas formas de enfrentamento das mesmas.

Uma das possibilidades desse enfrentamento é, na concepção de [8], proceder à construção de uma crítica pós-moderna ao conhecimento-regulação que a modernidade eurocêntrica impôs ao conjunto da sociedade. Tal enfrentamento deve se iniciar pela crítica do conhecimento. Na atual fase de transição paradigmática a teoria crítica pós-moderna constrói-se a partir de uma tradição epistemológica marginalizada e desacreditada da modernidade: o conhecimento-emancipação. Nesta forma de conhecimento a ignorância é o colonialismo e o colonialismo é a concepção do outro como objeto e, conseqüentemente, o não reconhecimento do outro como sujeito. Ademais, conforme assevera Heidegger (2006), a ciência não um ente em si, mas um para nós, aqui entendido como voltada para o conjunto da sociedade.

A construção dessa nova concepção de ciência, técnica e a racionalidade a elas subjacente passa pelo pressuposto de que o conhecimento é sempre contextualizado pelas condições que o tornam possível e de que ele só progride na medida em que transforma, em sentido progressista, essas condições. Por isso o conhecimento-emancipação é conquistado na medida em que se assume as conseqüências do seu impacto. Outro pressuposto importante presente na construção dessa crítica, nos moldes propostos pelo autor em questão, diz respeito à dicotomia consenso-resignação. Socorrendo-se de Marx e Gramsci, [6] afirma que a teoria crítica sempre entendeu por hegemonia a capacidade das classes dominantes em transformarem as suas ideias de modo a fazer crer os incautos serem verdadeiras as suas teses. Questionar os paradigmas sobre os quais se assentam tais teses é *conditio sine qua non* para o atendimento de uma nova concepção de ciência.

O autor supracitado afirma que o modelo de racionalidade sobre o qual a ciência moderna se assenta, constituiu-se a partir da revolução científica do século XVI e foi desenvolvida nos séculos seguintes basicamente no domínio das ciências naturais. A partir de então se pôde falar de um modelo

global, isto é, ocidental de racionalidade científica que admite variedade interna, mas que se defende ostensivamente das formas de conhecimento por eles identificadas como não científico: o senso comum, o conhecimento tradicional – notadamente o indígena e todo um leque de conhecimentos que precisam hodiernamente ser identificados como humanidades, que têm como uma de suas características epistemológicas básicas a necessária construção dos seus objetos de conhecimentos, já que os mesmos não nos são dados *a priori*. [8] ao mesmo tempo que descreve, também adverte sobre o modelo de racionalidade científica cartesiano:

Sendo um modelo global, a nova racionalidade científica é também um modelo totalitário, na medida em que nega o caráter racional a todas as formas de conhecimento que se não pautarem pelos seus princípios epistemológicos e pelas suas regras metodológicas. É esta a sua característica fundamental e a que melhor simboliza a ruptura do novo paradigma científico com os que o precedem. Está consubstanciada, com crescente definição, na teoria heliocêntrica do movimento dos planetas de Copérnico, nas leis de Kepler sobre as órbitas dos planetas, nas leis de Galileu sobre a queda dos corpos, na grande síntese da ordem cósmica de Newton e, finalmente, na consciência filosófica que lhe conferem Bacon e Descartes.

Ora, não se pode falar em rigor científico quando os dados são aferidos tão somente pelo rigor das medições. As qualidades intrínsecas do real são, por assim dizer, desqualificadas e em seu lugar passam a imperar as quantidades em que eventualmente se podem traduzir. O que não é quantificável é cientificamente irrelevante. Os conhecimentos que não se enquadrem nesse rigorismo cartesiano e tudo o que o envolve e permeia, mormente no que tange ao seu rico universo simbólico passam a ser adjetivados de exótico, expressando mais que o diferente: o inútil.

Observa-se ainda que essa concepção de método científico assenta-se na redução da complexidade que caracteriza a realidade. Conhecer é dividir e classificar para depois poder determinar relações sistemáticas entre o que se separou. “Dividir cada uma das dificuldades [...] em tantas partes quanto for possível e requerido para melhor as resolver” [10]. Esse conhecimento é marcadamente causal que aspira à formulação de leis, à luz das regularidades observadas, com vistas a prever o comportamento futuro dos fenômenos.

A elaboração de tais leis se processa, por um lado, através do isolamento das condições iniciais consideradas relevantes e, por outro lado, no pressuposto de que o resultado se produzirá independentemente do lugar e do tempo em que se

realizarem as condições iniciais. Nesse sentido, tais leis representam uma redução do conceito de causalidade proposto por Aristóteles que distinguia quatro tipos de causa: a causa material, a causa formal, a causa eficiente e a causa final. As leis da ciência moderna, na medida em que privilegia precipuamente o funcionamento do objeto do conhecimento em questão em detrimento da discussão sobre qual agente e qual o fim das coisas, reduz de forma deliberada a intencionalidade do sujeito autor da ação cognitiva.

Um conhecimento baseado na formulação de leis tem como pressuposto metateórico a ideia de ordem e de estabilidade do mundo, a ideia de que o passado se repete no futuro. Segundo a mecânica newtoniana, o mundo da matéria é uma máquina cujas operações se podem determinar exatamente por meio de leis físicas e matemáticas, um mundo estático e eterno a flutuar no espaço vazio, um mundo que o racionalismo cartesiano torna cognoscível por via da sua decomposição nos elementos que o constituem. Esta ideia do mundo máquina é de tal modo poderosa que vai transformar-se em grande hipótese universal da época moderna. [...] Este vai ser o grande sinal intelectual da burguesia. O determinismo mecanicista é o horizonte certo de uma forma de conhecimento que se pretende utilitário e funcional, reconhecido menos pela capacidade de compreender profundamente o real do que pela capacidade de o dominar e transformar [6].

Esse modelo de racionalidade científica apresenta evidentes sinais de crise do paradigma epistemológico moderno. As bases sobre as quais esse paradigma se assenta já não são suficientes para explicar a realidade em profundidade. Sua fragilidade foi demonstrada por Einstein [1879-1955] quando distinguiu a simultaneidade dos acontecimentos presentes no mesmo espaço e a simultaneidade dos acontecimentos distantes, em particular de acontecimentos separados por distâncias astronômicas. Em relação a esses últimos, Einstein identificou um problema de ordem lógica expresso na impossibilidade de se determinar a simultaneidade dos acontecimentos nos espaços presente e distante. Dessa forma, não havendo simultaneidade universal, o tempo e o espaço absolutos de Newton deixam de existir. Dois acontecimentos simultâneos num sistema de referência não são simultâneos noutro sistema de referência.

A fragilidade da visão da física clássica newtoniana inspirou Einstein a relativizar o rigor das leis da física nos domínios da astrofísica e a propor a mecânica quântica no domínio da microfísica. Segundo [6] “Heisenberg e Bohr demonstraram que não é possível observar ou medir um objeto sem interferir nele, sem o alterar, e a tal ponto que o objeto que

sai dessa medição não é o mesmo que lá entrou [...]”. O autor em questão assevera, baseado no princípio da incerteza [11]¹, que não conhecemos do real senão o que nele introduzimos, ou seja, que não conhecemos do real senão a nossa intervenção nele. Mesmo o rigor matemático quando posto a serviço de medições na física quântica se revela insuficiente, nos casos em que se formularem proposições que não puderem ser refutadas nem demonstradas como, por exemplo, nos casos de postulados de caráter não contraditório.

Esta concepção epistemológica encontra eco em pensadores da ciência do quilate do físico-químico russo Ilya Prigogine [1917-2003], para quem a teoria das estruturas dissipativas e o princípio da ordem se estabelecem através das flutuações em sistemas abertos². Essas flutuações de energia podem produzir um novo estado, representado pela potencialidade do sistema em ser atraído para um novo estado de menor entropia, de modo que a irreversibilidade nos sistemas abertos significa que eles são produto da sua história [6]. Essa teoria não é fenômeno isolado. Faz parte de um movimento convergente atual que atravessa vários campos da ciência, num movimento transdisciplinar que Jantsch designa por paradigma da auto-regulação e que se ramifica por outras teorias tais como no conceito de Hiperciclo e na teoria da origem da vida de Eigen e P. Schuster e no conceito de Autopoiesis de Maturana e Varela.

4. Considerações Finais

Os processos de reflexão são fundantes de toda possibilidade de conhecimento, especialmente porque não bastam informações para nos fazer saber das coisas; é preciso reorganizá-las, reformulá-las, analisá-las e reagrupá-las para que se possa ter acesso às múltiplas leituras dos seus sentidos e dos seus significados.

Foi a partir desta compreensão e de como se processa a apreensão do real e a produção do conhecimento, que nos propusemos questionar os conceitos de ciência, técnica e

[12]¹ Segundo esse princípio, não se podem reduzir simultaneamente os erros de medição da velocidade e da posição das partículas; o que for feito para reduzir o erro de uma das medições aumenta o erro da outra – [Tradução livre] - (HEISENBERG, Werner. *Physics and Beyond*. Londres: Allen & Unwin, 1971).

²Essa teoria afirma que em sistemas que funcionam nas margens da estabilidade, a evolução se explica por flutuações de energia que em determinados momentos, nunca inteiramente previsíveis, desencadeiam espontaneamente reações que, por via de mecanismos não lineares, pressionam o sistema para além de um limite máximo de estabilidade e o conduzem a um novo estado macroscópico. Esta transformação irreversível e termodinâmica é o resultado da interação de processos microscópicos segundo uma lógica de auto-organização numa situação de não-equilíbrio [8].

racionalidade modernas e a propor caminhos que pudessem alargar esses conceitos, por entendermos que, da forma como foram inicialmente propostos, não atendiam às visões de homem, de mundo e de sociedade que a ciência e a ética requerem nos dias atuais.

Na primeira parte do texto foram expostos os questionamentos às visões e práticas da ciência e da racionalidade modernas é fundamental. Reconhece-se a importância de ambas por ocasião da superação da visão de homem, de mundo e de sociedade que imperou em partes da Europa Ocidental no período medieval. Entretanto, atualmente, conforme exposto ao longo do texto, essas visões e as práticas delas decorrentes não atendem mais ao que os tempos atuais impõem a todos os que fazem ciência.

Na segunda parte do texto, demonstrou-se que a construção dessa nova epistemologia encontra eco nos pensamentos de autores como Jürgen Habermas, Herbert Marcuse, Martin Heidegger, Theodor Adorno, Max Horkheimer, e Boaventura Souza Santos, entre outros. O objeto da ciência não é mais simplesmente um ente em si, mas um para nós. A exclusão do conjunto dos atores sociais dos processos de discussão, decisão e repartição dos benefícios decorrentes dos processos produtivos é contrário infringe o estabelecido tanto nos aspectos deontológicos quanto teleológicos da ética. Ética.

Por fim, quer-se enfatizar que a dicotomia entre ciência e axiologia não faz mais sentido, pois ciência é ação construtiva e/ou produtiva e toda ação envolve valores, os quais repercutem sobre os seres humanos, na medida em que produz resultados que interferem sobre o mundo, a vida, a natureza e o homem.

5. Referências Bibliográficas

- [1] KOHLHEPP, Gerd. Conflitos de interesse no ordenamento territorial da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**. vol. 16, no. 45. São Paulo: mai/ago 2002.
- [2] CASTRO, Edna. Expansão da fronteira, megaprojetos de infraestrutura e integração sul-americana. **Caderno CRH**. v. 25, n. 64, p. 45-61. Salvador: jan./abr. 2012.
- [3] WITKOSKI, Antonio Carlos. **Terras, florestas e águas de trabalho**: os camponeses amazônicos e as formas de usos dos seus recursos naturais. 2. ed. São Paulo: Annablume, 2010. v. 1. 484p.
- [4] RODRIGUES, Renan Albuquerque. **Vidas despedaçadas**: impactos socioambientais da construção da usina hidrelétrica de Balbina (AM), Amazônia Central. 2013. 369 f. Tese (Doutorado em Sociedade e Cultura na Amazônia) - Curso de Pós-Graduação

em Sociedade e Cultura na Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

[5] HABBERMAS, Jürgen. **Técnica e Ciência como ideologia**. Lisboa/Portugal: Edições 70, 2009. 147 p.

[6] MARCUSE, Herbert. **Razão e Revolução**: Hegel e o advento da teoria social. São Paulo: Paz e Terra, 2005. 380p.

[7] HORKHEIMER, Max. **Eclipse da razão**. Rio de Janeiro: Editorial Labor do Brasil, 1972. 192 p.

[8] SANTOS, Boaventura de Sousa. **Um discurso sobre as ciências**. 7. ed. São Paulo: Cortez, 2010. 92 p.

[9] FOUCAULT, Michel. **Vigiar e Punir**. 35. ed. Petrópolis: Vozes, 2008. 262 p.

[10] DESCARTES, René. **Discurso sobre o método**. Coleção Textos Filosóficos. Petrópolis-RJ: Vozes, 2008. 72p.

[11] HEISENBERG, Werner. **Physics and Beyond**. Londres: Allen & Unwin, 1971).



Limestone calcination optimization of vertical container oven

^aAlexis Sagastume Gutiérrez.
Universidad de Cienfuegos.
E-mail: asagastume@ucf.edu.cu.

ABSTRACT

Producing lime demand high energy consumption and implies high CO₂ emissions and other environmental impacts significant. This work aims to establish a methodology for optimizing the calcination of limestone kilns normal vertical Cuba, to consider the influence of the quality of lime on the economic contribution margin. In this case they are used as tools work the method of exergy analysis and the method of genetic algorithms was used. The exergy balance limestone calcination identified that irreversibilities of combustion and heat transfer time and exergy loss in the exhaust gases, are the principal process inefficiencies. The implementation of the proposed optimization methodology reduced the energy consumption by 4.6% and increased the quality of lime at 5.3%.

Keywords:

Optimización de la calcinación de calizas en hornos de cuba vertical

RESUMO

La producción de cal demanda elevados consumos energéticos e implica altas emisiones de CO₂, así como importantes otros impactos ambientales. Este trabajo está dirigido a establecer una metodología de optimización de la calcinación de calizas en hornos de cuba vertical normal, que considere la influencia de la calidad de la cal sobre el margen de contribución económica. En este caso se utilizan como herramientas el trabajo se utilizó el método de análisis exergético y el método de los Algoritmos Genéticos. El balance exergético de la calcinación de calizas, identificó que las irreversibilidades de la combustión y de la transferencia de calor y momento, así como la pérdida de exergía con los gases de escape, constituyen las principales ineficiencias del proceso. La implementación de la metodología de optimización propuesta redujo el consumo energético en un 4,6% y aumentó la calidad de la cal en un 5,3%.

Palabras Clave:

1. INTRODUÇÃO

La cal es el alcalino más barato que existe y es una materia prima vital para muchos procesos industriales [1]. El proceso de producción de la cal es un alto consumidor de energía, lo que además representa su principal costo de producción (alrededor del 50% del costo total de producción) [2, 3]. Estas características han provocado que la crisis energética y el incremento de los precios del combustible afecten de manera particular los costos de producción de esta industria [4, 5]. Otro factor importante, también relacionado con el consumo energético, es la emisión de CO₂, principal factor del cambio climático [6]. En la producción de una tonelada de cal viva se emiten alrededor de 1,2 t de CO₂ [7, 8]; siendo el proceso de calcinación el proceso más contaminante de la producción de cal [9]. El consumo de energía además influye de forma directa

sobre la calidad de la cal viva [1, 10, 11, 12, 13] que depende de su contenido de CaO.

La calcinación de calizas se desarrolla en hornos diseñados con ese objetivo, de los cuales existen diferentes diseños que se clasifican en tres grandes grupos [14]: hornos artesanales, hornos de cuba vertical y hornos rotatorios. Siendo los hornos de cuba vertical los de mayor eficiencia térmica [1, 2, 15]. En las plantas existentes en Cuba se explotan de forma exclusiva hornos de cuba vertical normal.

Un horno de cuba vertical normal (ver Fig. 1), básicamente consiste en un reactor de lecho móvil, en el cual los gases calientes ascienden a contracorriente con las rocas calizas, que descienden mientras se calcinan a elevadas temperaturas, normalmente por encima de los 900 °C. Para su análisis, el horno

se divide en tres partes: zona de precalentamiento, zona de calcinación y zona de enfriamiento. La zona de calcinación comienza en el punto donde se inicia la disociación de los carbonatos de calcio en la roca y la zona de enfriamiento comienza en el punto donde cesa la calcinación. Las rocas calizas (y el combustible sólido en caso de un horno de mezcla) se alimentan por la parte superior del horno y la cal viva producida es descargada por la parte inferior del mismo. Los quemadores de gas o de petróleo se ubican en la zona de calcinación. La localización de estas zonas es una definición convencional y no física.; por otra parte, su altura es variable y depende de las condiciones de operación del horno.

El calor requerido para la disociación de la roca se suministra mediante la combustión del combustible apropiado (carbón, petróleo, gas, etc.).

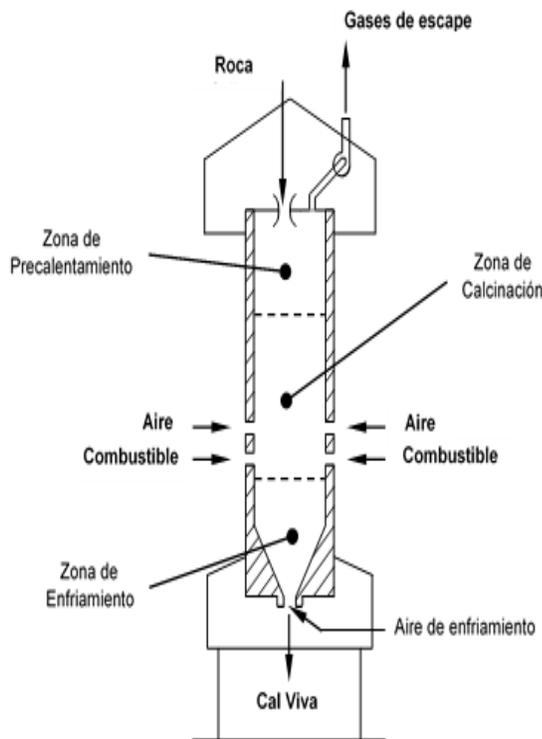


Figura 1. Esquema de un horno de cuba vertical normal.

A pesar de esto, se reportan pocas investigaciones en la literatura especializada sobre la evaluación y/o optimización del consumo de energía en este proceso [3, 14, 16, 17, 18]. En general, las propuestas descritas por la literatura se fundamentan en el 1er principio de la termodinámica [14, 16, 17, 18, 19, 20], implican la introducción de nuevas tecnologías en el proceso [21, 22, 23] o el uso de personal altamente capacitado [24] u optimizan desde el diseño [25, 26, 27, 28, 29]. Los enfoques del 1er principio de la termodinámica no permiten identificar todas las pérdidas del proceso, ni todas las potencialidades para reducir el consumo de

combustible; el resto de los enfoques implican inversiones importantes que muchas veces no están al alcance de pequeñas plantas de cal. En ningún caso se evalúa la dimensión ambiental de la producción de cal ni se tiene en cuenta la influencia de la calidad de la cal sobre su precio de venta.

El objetivo de este trabajo es presentar una metodología de optimización de la calcinación de calizas en hornos de cuba vertical que considere la influencia de la calidad de la cal sobre su precio de venta.

2. METODOLOGÍA

Los principales objetivos cuando se optimiza el funcionamiento de un horno de producción de cal son [30]: reducir el consumo de combustible, acelerar el proceso de producción y mejorar el aprovechamiento de la materia prima (roca caliza). Estos objetivos, están influenciados por los parámetros de operación del horno, que están vinculados a sus variables de control:

- Flujo de alimentación combustible (F)
- Flujo de alimentación de roca caliza (Ls)
- Flujo de extracción de cal viva (Ql)
- Coeficiente de exceso de aire (λ)
- Tiro del horno (ΔP)
- Radio medio de las rocas (R)
- Porosidad del lecho (ψ)
- Masa de aire de enfriamiento (m_{a_s})

El objetivo de la optimización definir el valor de las variables de control que optimizan el margen de contribución económica (G) del proceso, entendido como la diferencia entre el precio de venta de la cal (P) y su costo de producción (C_p):

$$\max G = P - C_p \quad (1)$$

La calidad de la cal es función del porcentaje de CaO (A_q) (que define el grado de conversión (X) de la calcinación), en el mercado mundial se cotiza aproximadamente según muestra la tabla 1.

Tabla 1. Precio de la cal en función de A_q .

A_q (%)	P (\$/t)
75	40
80	60
85	88
90	110
95	128
100	132

De donde se define una ecuación para calcular el precio de la cal en función de su calidad:

$$P = 132,35 \cdot \exp \left[\frac{-(0,9928 - A_q)^2}{2 \cdot 0,1556^2} \right] \quad (2)$$

El costo de producción de la cal viva es función de los costos variables y los costos fijos. En este caso se considera el costo de la roca alimentada al horno (C_R), el costo de la electricidad utilizada (C_E), el costo de la mano de obra (C_M), el costo del combustible consumido por el proceso (C_F), la amortización (C_A), el impuesto de la fuerza de trabajo (C_{FT}), el costo por reparación y mantenimientos (C_{RM}), el gasto general de administración (C_{Adm}) y otros gastos (C_O):

$$C_P = C_R + C_E + C_M + C_F + C_A + C_{FT} + C_{RM} + C_{Adm} + C_O \quad (3)$$

Los costos variables de producción son una función directa de la eficiencia en el consumo de energía y materias primas que dependen del consumo de roca caliza, electricidad y fuel, siendo estos los factores más influyentes en el desempeño ambiental de la producción de cal [9]. Por consiguiente, al optimizar la función objetivo, no solo se optimiza el desempeño económico de la calcinación; sino que además se optimiza su desempeño energético y ambiental.

El primer paso de la metodología propuesta (ver fig. 2) es definir los costos de operación del horno. Posteriormente se caracteriza el estado de operación del horno, es decir, se miden los parámetros de control del horno. Una vez caracterizado el horno, se realiza el balance exergético para identificar las ineficiencias del proceso, y la influencia de cada parámetro de operación sobre cada una de ellas. Mediante este análisis, se identifican los parámetros de operación que más influyen sobre la ineficiencia del horno. Una vez identificados los parámetros a optimizar, se implementa el método de los Algoritmos Genéticos para optimizar. Finalmente se implementan los resultados en el horno.

El balance de exergía del horno se desarrolló según se describe en [31]. El modelo matemático utilizado se describe en [2, 32, 33]. La optimización se desarrolla utilizando el método de los algoritmos genéticos [34].

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para implementar la metodología se seleccionó un horno de cuba vertical en una planta de cal Cuba. El horno analizado produce un promedio de 45 toneladas de cal viva diaria y utiliza fueloil como combustible, con un coeficiente de exceso de aire que alcanza valores de 1,9. Para establecer una línea de comparación se desarrolla el balance para un horno de alta eficiencia en la planta suiza Kalkfabric Nestal (KFN) reportado en la literatura [35] con una producción diaria de 50,6 toneladas y un coeficiente de exceso de aire de 1,05.

Para implementar la metodología propuesta se definieron los costos de operación del horno (ver tabla 2).

Tabla 2. Costos de producción de la cal viva.

Concepto	Unidad	Costo (\$/Unidad)
Combustible	l	0,83
Electricidad	kWh	0,23
Roca alimentada al horno	t	8,46
Mano de obra	t	6,31
Amortización	t	0,34
Impuesto de la fuerza de trabajo	t	1,38
Reparación y mantenimiento	t	1,66
Gasto de administración	t	0,01
Otros gastos	t	0,07

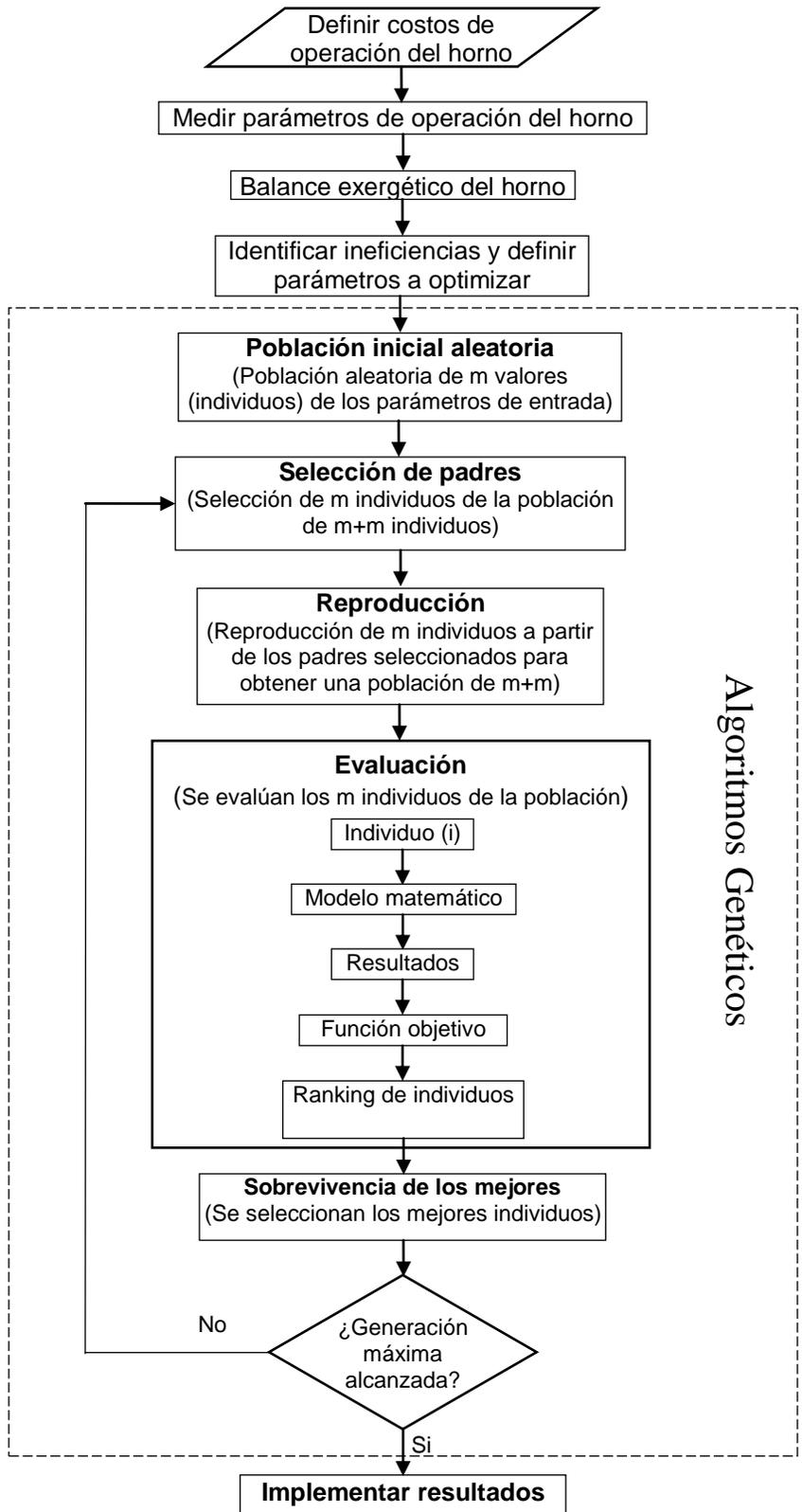


Figura 2. Metodología de optimización

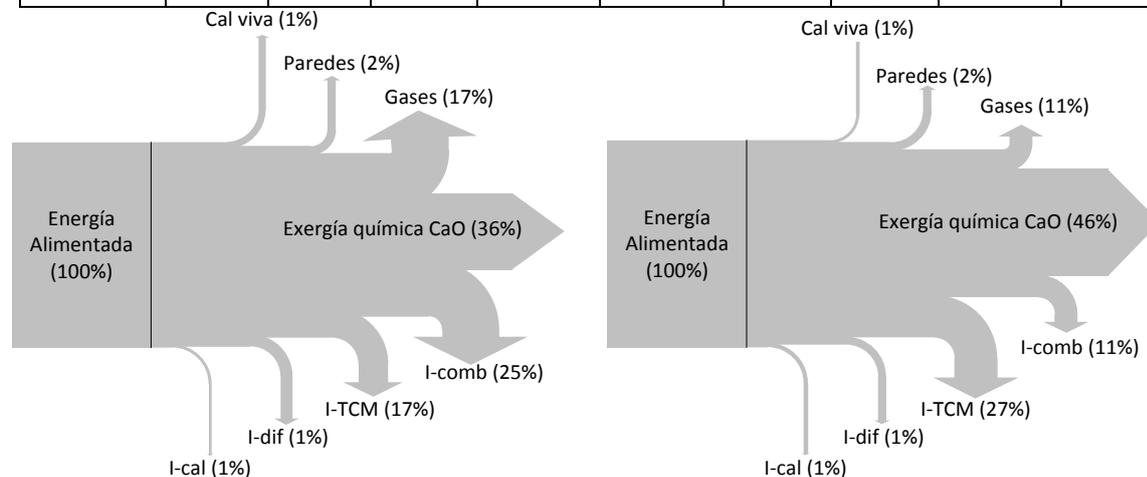
Como segundo paso de la metodología de optimización, se miden los parámetros de operación del horno durante tres días. La tabla 3 muestra los resultados de la medición y de la eficiencia exérgica, el precio de la cal, los costos de producción y el margen de contribución económica, calculados a partir de las mediciones. Como se puede apreciar en la tabla, para las condiciones de explotación actual, la planta opera con pérdidas

económicas. Esto se debe en lo fundamental a la mala operación del opera que provoca una baja eficiencia exérgica con un consumo de combustible alto.

Para identificar las ineficiencias asociadas a la calcinación de calizas, se desarrolla el balance exérgico como se muestra en la fig. 3. Además se analiza el horno de KFN.

Tabla 3. Parámetros de operación medidos en el horno.

E (MJ/kg)	d (m)	λ	Aq (%)	ma (kg/kg)	X	η_{ex} (%)	P (\$/t)	C (\$/t)	G (\$/t)
4,63	0,055	1,932	84,97	0,70	0,9099	36,24	86,69	118,04	-31,35
4,48	0,054	2,001	84,31	0,71	0,9056	37,01	83,31	115,01	-31,70
4,69	0,055	1,897	84,99	0,74	0,9100	35,83	86,81	119,24	-32,43



Leyenda:

Cal viva: Exérgica física de salida de la cal viva
Paredes: Exérgica perdida por las paredes
Gases: Exérgica de los gases de escape

I-cal: Irreversibilidades de la calcinación
I-dif: Irreversibilidades de la difusión
I-TCM: Irreversibilidades de la transferencia de calor y momento
I-comb: Irreversibilidad de la combustión

Figura 3. Balance exérgico del horno.

En la figura se aprecia que en el horno estudiado las mayores ineficiencias se concentran en las irreversibilidades de la combustión, la transferencia de calor y momento y la pérdida de exérgica con los gases de escape sumando el 59% de la exérgica alimentada al horno. Por otra parte, en el horno de KFN las irreversibilidades de la transferencia de calor y momento constituyen la principal pérdida de eficiencia y sumado a las irreversibilidades de la combustión y a la pérdida de exérgica de los gases de escape suma el 49% de la exérgica alimentada al horno perdida en el proceso.

La optimización de la operación horno está enfocada a definir el valor de los parámetros de control que maximizan el margen de contribución económica (G). En este caso, considerando las características de los hornos de cuba vertical y los datos estadísticos de la explotación de estos hornos en Cuba y el consumo mínimo posible de esta tecnología, el consumo energético estará limitado entre 4,1 y 5,5 MJ/kg_{CaO}. Considerando los resultados del balance exérgico, se enfatiza en el control del coeficiente de exceso de aire en la operación del horno. Para la optimización se mantuvieron

constantes el diámetro de la roca, el coeficiente de exceso de aire y la masa de aire de enfriamiento, optimizándose el consumo de combustible. Los resultados de la optimización se muestran en la tabla

4. Como último paso de la metodología se implementan los resultados en el horno. En este caso se trabajó durante tres días en la implementación los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 4. Resultados de la optimización.

E (MJ/kg)	d (m)	λ	Aq (%)	ma (kg/kg)	X	η_{ex} (%)	P(\$/t)	C(\$/t)	G(\$/t)
4,40	0,055	1,550	93,89	0,93	0,9845	42,09	124,62	114,00	10,62

Tabla 5. Parámetros de operación medidos durante la optimización del horno.

E (MJ/kg)	d (m)	λ	Aq (%)	ma (kg/kg)	X	η_{ex} (%)	P(\$/t)	C(\$/t)	G(\$/t)
4,42	0,055	1,573	92,94	0,92	0,9788	41,49	121,80	114,61	7,19
4,41	0,055	1,557	92,86	0,94	0,9783	41,55	121,53	114,41	7,13
4,36	0,055	1,510	93,15	0,94	0,9800	42,14	122,46	113,43	9,03

Comparando las tablas 4 y 5 puede observarse una mejora en el desempeño de la calcinación de calizas. También se aprecia una reducción de los costos de producción y un aumento del precio de venta del producto, incrementando el margen de contribución económica. En este caso se redujo el consumo de combustible (reduciendo los costos de producción), mejorándose además la calidad de la cal viva (aumentando el precio de venta). Con la implementación de los resultados la planta comenzó a operar con beneficios económicos.

transferencia de calor y momento (I-TCM) tienden a aumentar su porcentaje. Lo que quiere decir, que con la optimización aumenta la exergía destruida durante los procesos de transferencia de calor relacionados con la calcinación de calizas, lo que incide en el aumento de la calidad de la cal viva.

En estudios anteriores, basados en el 1er principio de la termodinámica [14, 16, 17, 18, 19, 20] se identificaron las pérdidas con los gases de escape como la principal ineficiencia del proceso. El análisis con la segunda ley permite identificar, además de las pérdidas con los gases de escape a las irreversibilidades de la combustión y de la transferencia de calor y momento como los factores que más inciden en las ineficiencias del proceso. Por otra parte, al considerar la influencia de la calidad de la cal sobre su precio de venta y por consiguiente sobre el margen de contribución económica de la calcinación de calizas, es posible optimizar el proceso económica (al concentrar, solo en el consumo de combustible, alrededor del 50% de los costos totales de producción [2, 3]), energética (más del 90% de la energía de la producción de cal se consume en la calcinación de calizas [36]) y ambientalmente (más del 80% de los impactos ambientales de la producción de cal se concentran en la calcinación de calizas [9]) utilizando una sola función objetivo, lo que simplifica la optimización.

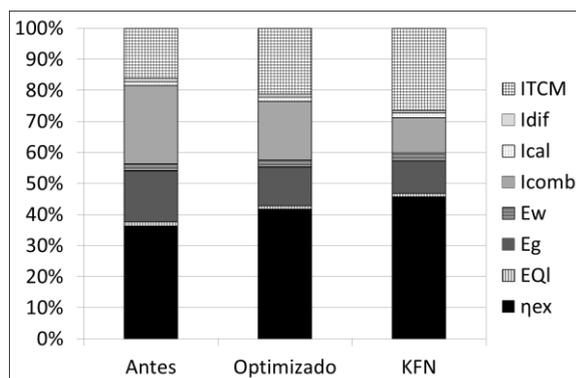


Figura 4. Balances de exergía del horno de la planta No.2 (antes y óptimo) y del horno de KFN.

La figura 4 muestra una mejora en la eficiencia exergética del horno. En este caso se puede apreciar una tendencia del horno hacia el comportamiento del horno de KFN.

Como se puede apreciar las irreversibilidades de la combustión (I-comb) tienden a disminuir mientras que las irreversibilidades de la

4 CONCLUSIONES

Las principales ineficiencias de la calcinación de calizas en hornos de cuba vertical se

localizan en combustión del combustible, la transferencia de calor y momento y las pérdidas de exergía con los gases de escape, contribuyendo con más del 49% de la pérdida de eficiencia exergética.

La implementación de la metodología de optimización permitió reducir el consumo de energía en un 4,6% e incrementar la calidad de la cal en 5,3% pasando a operar con un margen de contribución económica negativo a uno positivo. Considerar la influencia de la calidad de la cal sobre el margen de contribución económica permite optimizar la calcinación de calizas en el plano económico, energético y ambiental, minimizando los parámetros a controlar.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Oates, J.A.H., **Lime and Limestone**. Wiley-VCH, Weinheim, Alemania, 1998.
- [2] Bes A. **Dynamic process simulation of limestone calcination in normal shaft kilns**. Tesis doctoral. Magdeburg: Otto-von-Guericke University; 2006.
- [3] Ochoa, P.A., Sagastume, A., Vandecasteele, C., 2010. **Cleaner production in a small lime factory by means of process control**. Journal of Cleaner Production. 18, 1171-1176.
- [4] Federal German Association of the Lime Industry, 2005. **Annual general meeting of the federal German association of the lime industry**. ZKG International. 58, 24-25.
- [5] Federal German Association of the Lime Industry, 2006. **Energy prices put a strain on the lime industry**. ZKG International. 59, 22-23.
- [6] Benhelal, E., Zahedi, G., Hashim, H., 2012. **A novel design for green and economical cement manufacturing**. Journal of Cleaner Production 22, 60-66.
- [7] Freiherr, D., 2004. **The effects of emissions trading on the German lime industry**. ZKG international. 57, 50-56.
- [8] Wolter, A., Fuchs, W., 2007. **Specific CO₂ emissions and the applications of lime burning kilns**. ZKG international. 60, 45-50.
- [9] Sagastume, A., Van Caneghem, J., Cogollos, J.B., Vandecasteele, C., 2012. **Evaluation of the environmental performance of lime production in Cuba**. Journal of Cleaner Production 31, 126-136.
- [10] Borgwardt, R.H. **Calcium oxide sintering in atmospheres containing water and carbon dioxide**. Ind. Eng. Chem. Res. 28 (4) 493-500, 1989.
- [11] Commandre, J.M., Salvador, S., Nzihou, A., **Reactivity of laboratory and industrial limes**. Chemical Engineering Research and Design, 85 (4) 1-8, 2007
- [12] Hogewoning, S., Wolter, A., Schmidt, S.O., **Dependence of hard burn potential on limestone properties (Part 1)**. ZKG International 61 (6) 54-60, 2008.
- [13] Hogewoning, S., Wolter, A., Schmidt, S.O., **Dependence of hard burn potential on limestone properties (Part 2)**. ZKG International 61 (7) 84-93, 2008.
- [14] Boynton, R.S., **Chemistry and technology of lime and limestone**, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1980.
- [15] European Commission, 2001. **Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)**. Reference document on best available techniques in the cement and lime manufacturing industries. Disponible en: www.epa.ie/downloads/advice/brefs/cement.pdf (13.11.2012).
- [16] Ruch, H., **The theoretical limits of the heat consumption in lime burning considered on the basis of the physico-chemical relationships**. ZKG International. 34 (1) 26, 1981.
- [17] Thomas, H.P., 1981. **Limits of the heat consumption of annular shaft kilns at combustion of lime**. ZKG International. 34, 27-35.
- [18] Schaefer, G., 1981. **Heat consumption limits of parallel-flow /counter-flow at combustion of lime regenerative kilns**. ZKG International. 34, 36-41.
- [19] Hill, N., Mason, K., 1997. **Calculating the energy efficiency of a lime burning process**. World Cement. 28, 52-56.
- [20] Senegacnik, A., Oman, J., 2008. **Improving the efficiency of lime burning annular shaft kiln by gas recirculation**. Revista ciências exatas. 2, 1-10.

- [21] Egorov, A.A., Sidorov, N.V., Tsibulnikov, A.I., Zyulyarkin, D.A., Kurochkin, B.M., 1982. **Increasing the thermal efficiency of lime kilns.** Metallurgist. 26, 252-254.
- [22] Piringer, H., Werner, W., 2008. **Conversion of large-diameter single shaft kilns to lignite dust firing successfully concluded.** 61, 46-52.
- [23] Foster, John B., **Method for the control and command of a kiln for the burning of lumped material and the relative kiln.** European Patten Office. 2011.
- [24] Sheng-xiang, D., Qing-song, X., Jie-min, Z., 2011. **A lime shaft kiln diagnostic expert system based on holographic monitoring and real-time simulation.** Expert Systems with Applications. 38, 15400–15408.
- [25] Zuidelveld, P.L., van den Berg, P.J., 1971. **Design of lime shaft kilns.** Chemical Engineering Science. 26, 875-883.
- [26] Piringer, H., Loebner, A., 2004. **Optimization of capital costs during the development of a new generation of Maerz PFR lime kilns.** ZKG international. 57, 40-49.
- [27] Zheng-ming, Y.I., Jie-min Z., Hong-rong, C., 2005. **Numerical simulation of thermal process and energy saving of lime furnace.** J. Cent. South uni. Technol. 12, 295-299.
- [28] Brechet, T., Tulkens, H., 2009. **Beyond BAT: Selecting optimal combinations of available techniques, with an example from the limestone industry.** Journal of Environmental Management. 90, 1790-1801.
- [29] Okonkwo, P.C., Adefila, S.S., 2012. **The Kinetics of Calcination of High Calcium Limestone.** International Journal of Engineering Science and Technology. 4, 391-400.
- [30] Wolter, A., 2000. **Present situation and future outlook for burning fine-grained limestone.** ZKG international. 53, 518-524.
- [31] Sagastume, A., Cogollos, C., Vandecasteele, C., 2013. **Energy and exergy assessments of a lime shaft kiln,** Applied Thermal Engineering 51, 273-280.
- [32] Do, D.H., **Simulation of lime calcination in normal shaft and parallel flow regenerative kilns.** Magdeburg: Otto-von-Guericke University, 2012.
- [33] Sagastume, A., Vandecasteele, C., 2011. **Exergy-based indicators to evaluate the possibilities to reduce fuel consumption in lime production.** Energy. 36, 2820-2827.
- [34] Gosselin, L., Tye-Gingras, M., Mathieu-Potvin, F., 2009. **Review of utilization of genetic algorithms in heat transfer problems.** International Journal of Heat and Mass Transfer. 52, 2169–2188.
- [35] Kellenberger, D., Althaus H. J., Jungbluth, N., Kunniger, T., Lehmann, M., Thalmann, P., Ecoinvent Report No.7, **Life Cycle Inventories of Building Products.** Final Report Ecoinvent Data v2.0 No.7. EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH. 2007.
- [36] Sagastume, A., **Optimización de la calcinación de calizas en hornos de cuba vertical normal.** Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos, 2013.



Photovoltaic Generation System Applied in isolated Communities in the Amazon

Rômulo Pereira Cabral¹, Marcos Cesar Alves Pinheiro¹, Jandecy Cabral Leite²

¹Centro Universitário do Norte (UNINORTE). Av. Joaquim Nabuco, 1469, Centro. Manaus-Amazonas-Brasil. CEP: 69005-290. Fone: +55 (92) 3212 5000.

²Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM Praça Francisco Pereira da Silva, 149, Bola da Suframa – Distrito Industrial. Manaus – Amazonas – Brasil. CEP: 69073-270. Fone: +55 (92) 3639-8952 ou +55 (92) 3584-6145.

*romulocabralrpe@gmail.com, *jandecy.cabral@itegam.org.br

ABSTRACT

Spend a dirty and finite energy matrix, whose base is fundamental today for a clean and sustainable generation is a difficult transition. The Amazon can provide relevant services, serving as a model of clean generation from the sun and how this source can help in sustainable development of the region. The aim of the paper is to show the application of photovoltaics in remote regions of the Amazon, which for lack of adequate investments or technical infeasibility of systems integration today, are not used. The methods and techniques were taken from field applications of the Light for All project with the use of Photovoltaic Mini Mills with Minirede Distribution. The results indicate that there is viability of the technology, regardless of the location of the project, indicating the importance for economic and social development of the Amazon region.

Keywords: Photovoltaic Energy, Sustainability, Social Development.

Geração Fotovoltaica Aplicada em Comunidades de Sistemas isolados na Amazônia

RESUMO

Passar de uma matriz energética suja e finita, cuja base é fundamental hoje para uma geração limpa e sustentável, é uma difícil transição. A Amazônia pode prestar relevantes serviços, servindo de modelo de geração limpa a partir do sol e como essa fonte pode ajudar no desenvolvimento sustentável da região. O objetivo do artigo é mostrar a aplicação da energia fotovoltaica em regiões isoladas do Amazonas, que por falta de investimentos adequados ou inviabilidades técnicas de integração aos sistemas hoje, não são utilizados. Os métodos e as técnicas foram retirados de aplicações de campo do projeto Luz para Todos com a utilização de Miniusinas Fotovoltaicas com Minirede de Distribuição. Os resultados alcançados indicam que existe viabilidade da tecnologia, independente da localização do empreendimento, indicando importância para o desenvolvimento econômico e social da região amazônica.

Palavras-Chave: Energia Fotovoltaica, Sustentabilidade, Desenvolvimento Social.

1 INTRODUÇÃO

Ambientalmente falando o Amazonas esta na vanguarda de uma economia que comumente chamada de verde, ou seja, sustentável, e ainda tem como contribuir para garantir que as mudanças climáticas globais sejam minimizadas e garantam assim, manutenção da qualidade de vida no planeta.

Os temas discutidos na Rio+20 giraram em torno de dois eixos : Um sendo o do desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza, E o segundo em governança ambiental, [1], torna explicito o que já era oficiosamente conhecido, o governo

brasileiro não apoia de forma clara a mudança da matriz energética para fontes mais limpas por estar equivocado em ver somente o primeiro dos eixos mencionados da Rio+20 e segundo, o ambiental que este sim irá refletir indubitavelmente quando desenvolvido na erradicação da pobreza.

A presente pesquisa justifica-se pelas oportunidades energéticas disponíveis para a Amazônia, mais especificamente para estado do Amazonas, mostrando-se de excelente oportunidade para o campo de aproveitamento de energia solar, particularmente em áreas isoladas.

O objetivo dessa pesquisa é a de tornar conhecida uma solução que vem de encontra, por exemplo, de resoluções como a nº 2, de 22 de Maio de 2003, que estabelece diretrizes para o suprimento emergencial de energia elétrica para o atendimento dos Sistemas Isolados do Norte do Brasil, em especial na região metropolitana de Manaus – AM, e da ANEEL que em sua resolução nº 482, de 17 de Abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica para contribuir principalmente com a melhora da qualidade de vida dos brasileiros.

E a pergunta que fica é a de como é superar as diferenças políticas e frear ações de exploração desmedida que estão tendo consequências mundiais?

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produção de Energia no Brasil

No Brasil, o processo de urbanização esta tendo consequências desastrosas e descontroladas, uma vez que a demanda de serviços, equipamentos públicos, transportes, comércio, tecnologia, tem causado série transtornos na dinâmica das cidades.

Atualmente, a capacidade do planeta de suportar os impactos ambientais associados às atividades produtivas é que passa a ser percebida como um grande entrave ao desenvolvimento sustentável [2].

Hoje, pode-se dizer que o espaço mundial é predominantemente urbano e com conhecimento adquirido e tecnologia a utilização de recursos naturais deveria estar muito mais avançada na utilização de fontes limpas de energia para exemplificar, mas em muitos casos um criminoso esquecimento apeia a mente dos tomadores de decisão cometendo erros monumentais pelo mundo afora sem justiça com o meio ambiente.

A energia é um ponto chave na sociedade moderna e com essa visão moderna a forma de geração de energia deve ser sustentável e quando fala-se em ser sustentável a primeira barreira encontrada é o viés econômico desenvolvimentista que não tem capacidade de aceitar desenvolvimento junto com não crescimento.

Afirmado por [3] em seu texto sobre energias renováveis, onde foi indicado que mantidas as atuais tendências a população mundial deverá ter um aumento em torno de 50%, o que por si só já levanta um grito de alerta, mas que pelo menos já é consenso pelo mundo que as fontes de energia devem gerar impactos nas mudanças climáticas irrisórios.

Em uma série denominada “Sustentabilidade”, manifesta-se de várias formas que a demanda energética mundial ainda continua sendo o petróleo, mesmo com todas as inversas opiniões sobre sua utilização e a solar ocupando o singelo 9º lugar participando com 11% dessa demanda e afirma categoricamente que o governo é omissos em um assunto de tamanha importância deixando de lado até os discursos realizados na Rio+20 (GOLDEMBERG, 2012). Deixando ainda bem claro que defender e preservar a natureza são um feito sem igual para a sociedade, inclusive para as metas do governo brasileiro de erradicação da pobreza.

Observando outro ponto nessa problemática está a forma de geração de energia do Sistema Nacional Brasileiro cujo modelo é centralizado e pautado na geração através de unidades geradoras seja hidroelétrica ou termoeletrica, primordialmente que com essa centralização acarretam perdas consideráveis e consequentemente custos aumentados.



Figura 1. Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica
Fonte: [4].

Acrescenta-se a quaisquer motivos para a difusão dessa ideia que a região amazônica é na sua maioria desassistida pelo sistema interligado de distribuição de eletricidade do Brasil, como visto na figura 1.

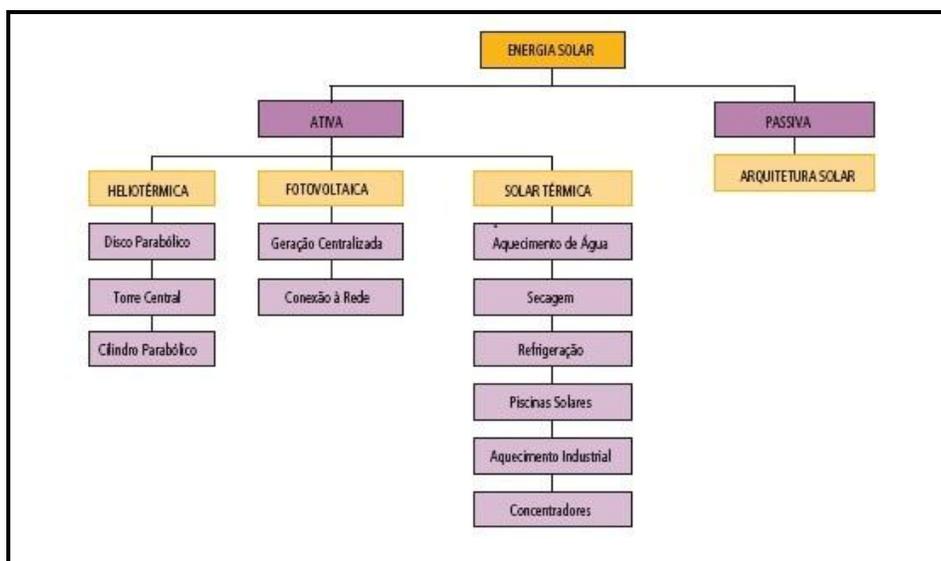


Figura 3. Fluxo das Aplicações Práticas da Energia Solar. Fonte: [10].

A tecnologia empregada para a obtenção de energia com placas solares é um processo utilizando o silício como semicondutor, e quando é atingido pelos raios solares inicia um fluxo de produção de energia, gerando corrente contínua. Um dado importante é que para a geração de energia o único fator de dependência é a intensidade de luz, quanto maior ela for maior será o fluxo de eletricidade. No modelo de sistema fotovoltaico não é necessário o brilho do sol incidindo diretamente sobre a placa, bastando para tanto ter reflexão da luz do sol, como exemplo dias nublados podem gerar mais energia que outros completamente claros.

Além das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar, etc.), a disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Isso se deve à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra promove o movimento de rotação e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol, o movimento de translação [10].

Observa-se que a irradiação solar no Brasil é quase que constante mesmo com todas as variações sazonais recorrentes durante o passar dos meses do ano. Este fato é uma vantagem para o sistema fotovoltaico de energia, como mostra a figura 4.

O recurso solar disponível no Brasil é considerável. Em média, anualmente, essa disponibilidade supera os 1.900 kWh/m². Essa disponibilidade ocorre em todo o território, promovendo a fotossíntese das plantas alimentícias, das que produzem madeira e bicomustíveis, além de possibilitar a conversão térmica da energia solar para aquecimento de água. No entanto, segue sendo marginal à utilização da conversão direta da luz solar em eletricidade com a utilização de sistemas.

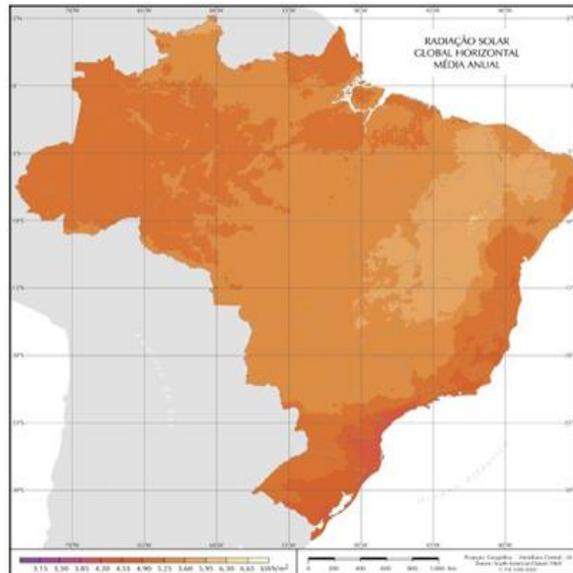


Figura 4. Mapa de Radiação Solar do Brasil. Fonte: [9].

2.5 Recursos Solares no Brasil

Atualmente, o suprimento de energia elétrica no Estado é de responsabilidade da concessionária Amazonas Energia, que possui 709.230 consumidores ativos distribuídos pelas classes residencial, industrial, comercial, rural, poder público, serviço público e outros. O fornecimento de energia elétrica no ano de

2010 foi de 4.808,39 GWh, sendo 3.982,82 GWh para a capital Manaus e de 825,57 GWh para o interior do Estado, demonstrando que 83% do fornecimento do estado do Amazonas está concentrado na capital e apenas 17% nos demais municípios, tendo como base a geração térmica com óleos combustíveis derivados de petróleo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O ponto principal deste trabalho é destacar a disponibilidade de energia como um fator de desenvolvimento social, econômico e de preservação ambiental. Especificamente no tocante a produção de energia, mas agora com a parceria do desenvolvimento sustentável, faz-se comparação entre as matérias primas para a geração dessa energia.

As fontes de geração de eletricidade têm características muito diferentes quanto a impactos socioambientais e econômicos de forma que se torna difícil a comparação entre elas. Mesmo havendo dados disponíveis sobre estas questões, o problema de difícil solução é como incluí-los numa análise e realizar comparações com outras fontes de eletricidade [11].

A produção de energia no Amazonas o é como no restante do Brasil, centralizada. Uma lei a 9.704 de 7 de Julho de 1995, que entre outros assuntos concede e permite serviços públicos especiais, que é o de Produtor Independente de Energia - PIE, veio a ajudar na resolução da demanda por energia elétrica no Amazonas indicado na tabela 1, afastando para um futuro tempos de escassez de energia.

Tabela 1 – Produtores de Energia no Amazonas

Local		Geradores	MW
Capital e Interior	Eletrobras Amazonas Energia	Geração Própria	
		Térmica de Aparecida	172,0
		Mauá	436,5
		UTE - Cidade Nova	15,4
		UTE – São José	36,4
		UTE – Flores	69,0
		Hidrelétrica de Balbina	250,0
		Usina Flutuante Electron	120,0
	Independente	Geração Independente	
		Breitener Tambaqui	60,0
		Breitener Jaraqui	60,0
		Manaura	60,0
		Rio Amazonas	65,0
		Gera	60,0
		Sub Total	1404,3
	Interior	383,0	
	Total Geral	1787,3	

Fonte: [8].

Seguindo as relevantes informações sobre produção de energia temos que a região do Amazonas dispõe de 1.787,3 MW, energia que na verdade não contabiliza as perdas pela prática de geração centralizada. Uma segunda informação e negativa vem do fato do mercado de energia na região amazônica ter uma previsão de crescimento médio de 6% a.a para os próximos 10 anos, mas sem previsão de novos investimentos que garantam o suprimento dessa demanda.

4.2 Impactos econômicos do uso de Gás Natural X Derivados de Petróleo

Todo o parque geracional de energia na região amazônica tem basicamente como matriz energética ou a água ou derivados de petróleo, ou seja, ou se tem hidroelétrica ou termoeletrica.

Segundo [12], fazendo um comparativo somente nas termoeletricas levando em consideração o combustível utilizado pode-se ter uma alternativa que o gás natural que somente por sua utilização já refletiria em uma redução média na ordem de 45% no custo da produção de energia, indicados nos Figuras 6 e 7.

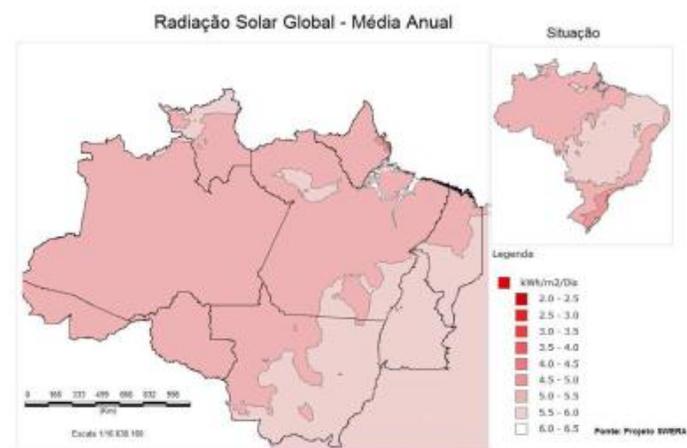


Figura 5: Radiação solar global – média anual para o território brasileiro (situação), em destaque a Amazônia. Fonte: [4].

A energia fotovoltaica é diretamente ligada a irradiação solar, por isso para uma medição correta, foram utilizadas as cartas solarimétricas disponíveis no Atlas Brasileiro de Energia Solar em sua 1ª edição de 2006, e fontes como a Figura 5, mais especificamente a região norte.

4 APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

4.1 A produção centralizada de energia no Amazonas

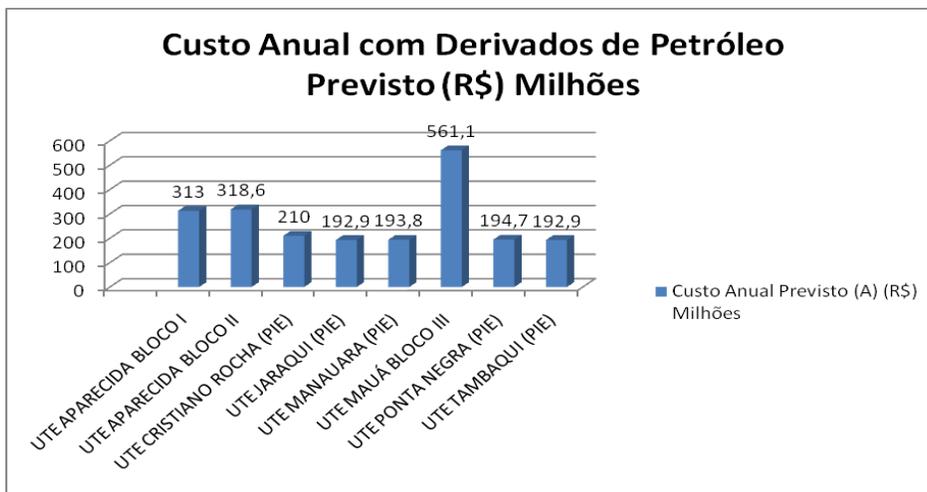


Figura 6: Custo Anual com Derivados de Petróleo
Fonte: [12].

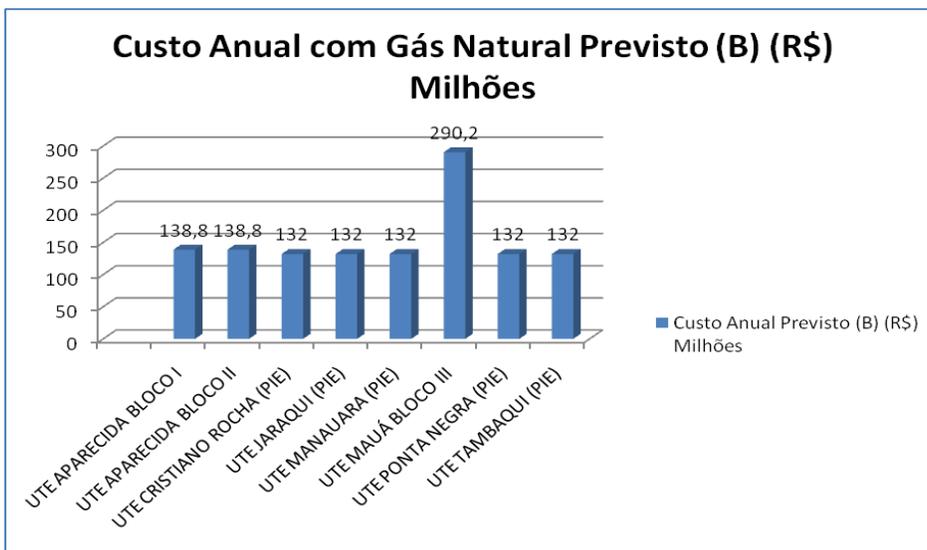


Figura 7: Custo Anual com Gás Natural
Fonte: [12].

4.3 Benefícios da geração fotovoltaica em detrimento de outras fontes

Energia solar inicialmente foi utilizada para resolver um problema de como manter satélites de comunicação que ficam em órbita da terra funcionando, nesse quesito é uma tecnologia altamente aplicada, inclusive a de salientar que por longos períodos de tempo. Segundo Oliveira (2002), a comparação de energia elétrica produzida pela usina hidrelétrica localizada em Balbina, como exemplo no ano 1930 gerou, aproximadamente, 2,2 TWh, comparativamente através da fonte solar utilizando a

mesma área seria de 380 TWh, cerca de 172 vezes maior que a energia elétrica gerada na forma que hoje existe.

A região amazônica assim como no Brasil tem uma das menores variações sazonais do mundo tornando a região ideal para essa aplicação. A economia nos combustíveis derivados de petróleo tanto como o óleo diesel como o gás seriam bastante significativas.

Ed. 001. VOL 001 – ISSN 2447-0228 (online)

Outro ponto a ser abordado é a baixa emissão de carbono por parte dessa forma de produção de energia tendo como seu único resultado poluente o calor.

No contexto local e complexo o Amazonas que seja por sua grandiosa extensão, particularidades populacionais ou excentricidades geográficas, esta numa posição difícil em termos de soluções mas invejável para aproveitar uma das mais novas linhas de produção de energia, a Solar. Em Manaus, capital do estado existindo o segundo maior parque da América Latina, o parque industrial amazonense o PIM, mantendo os ideais que levaram a criação da Zona Franca de Manaus, juntamente com lemas como o “Integrar para não Entregar”, máximas dos governos brasileiros, pode-se ter uma pergunta despertando de “Seremos capazes de aproveitar essa oportunidade?”.

4.4 Análises, Resultados e Discussões

Nos municípios citados na figura 8 as miniusinas estão instaladas nas comunidades assim divididas. No município de Autazes a cerca de 112 km de distância de Manaus, na comunidade de São Sebastião do Rio Preto, com 12 unidades consumidoras, em Barcelos a cerca de 400 km de distância de Manaus na comunidade Terra Nova, com 23 unidades consumidoras, em Beruri a cerca de 173 km de distância de Manaus na comunidade Nossa Senhora do Carmo, com 12 unidades consumidoras, em Eirunepé a cerca de 1160 km de distância de Manaus o projeto está localizada em duas localidades uma é na comunidade de Mourão com 21 unidades consumidoras e na comunidade de Santo Antônio com 15 unidades consumidoras, em Maués a cerca de 258 km de distância de Manaus o projeto está localizada em quatro localidades assim divididas na comunidade de Nossa Senhora de Nazaré com 16 unidades consumidoras, na

comunidade de Santa Luzia com 23 unidades consumidoras e na comunidade de Santa Maria com 21 unidades consumidoras e na comunidade São José com 13 unidades consumidoras, em Novo Airão a cerca de 229 km de distância de Manaus com três comunidades, sendo a primeira em Aracari com 14 unidades consumidoras, em Bom Jesus do Puduari com, 27 unidades e em Sobrado com 15 unidades consumidoras.

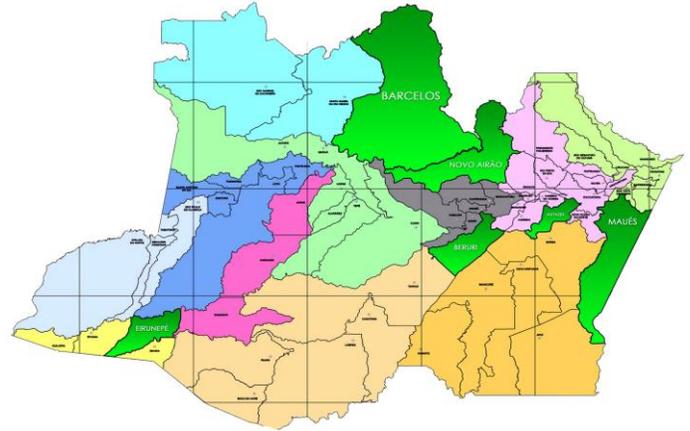


Figura 8. Distribuição geográfica dos Municípios do Programa
Fonte: [8].

As unidades consumidoras distribuídas pelos 6 municípios tem variações nas quantidades de unidades consumidoras atendidas assim também a energia disponível, que onde ficam em torno de 570 KW/h para Novo Airão, 718 KW/h para Maués, Eirunepé com 311 KW/h, Beruri com 126 KW/h Barcelos com 221 KW/h e Autazes com 147 KW/h como mostra o Figura 9.

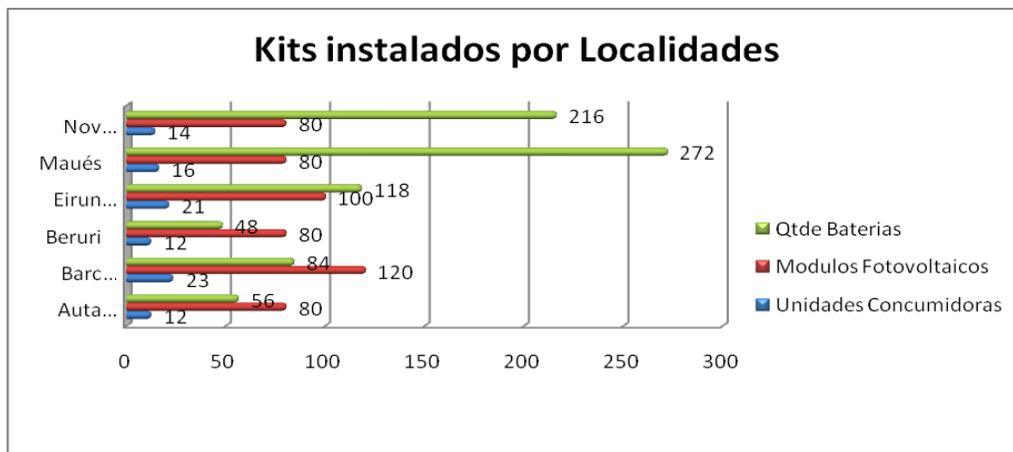


Figura 9. Sistemas Instalados.
Fonte: [8].

Não foi levado em consideração a demanda por unidade consumidora, localidades, possibilitando um consumo médio que variou entre 9,84 mas a capacidade de geração dos equipamentos instalados nas KW/h em Barcelos indo até 12,32 KW/h em Autazes.

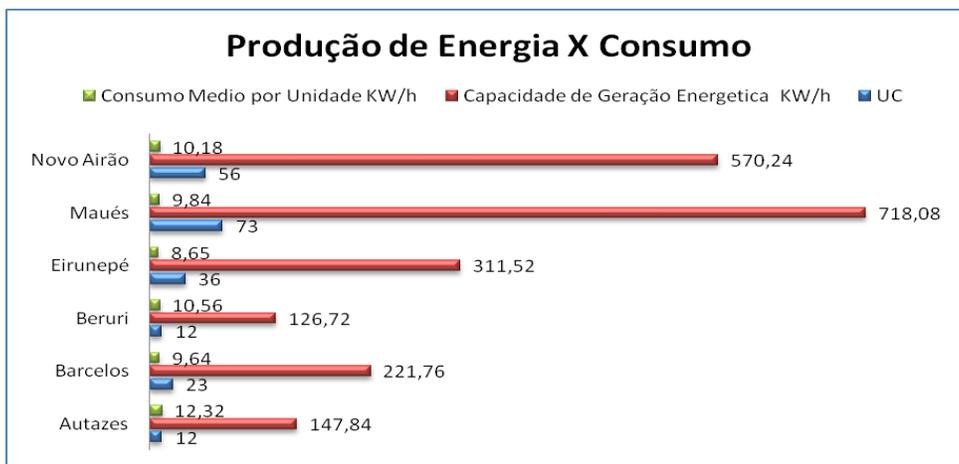


Figura 10. Unidades consumidoras e suas localidades.
Fonte: [8].

Importante citar os valores energéticos disponíveis anualmente encontrados nos meses de Dezembro e Janeiro, e as maiores na região norte como um todo, onde valores mínimos são disponibilidades nos meses de Agosto e Setembro, Figura 10.

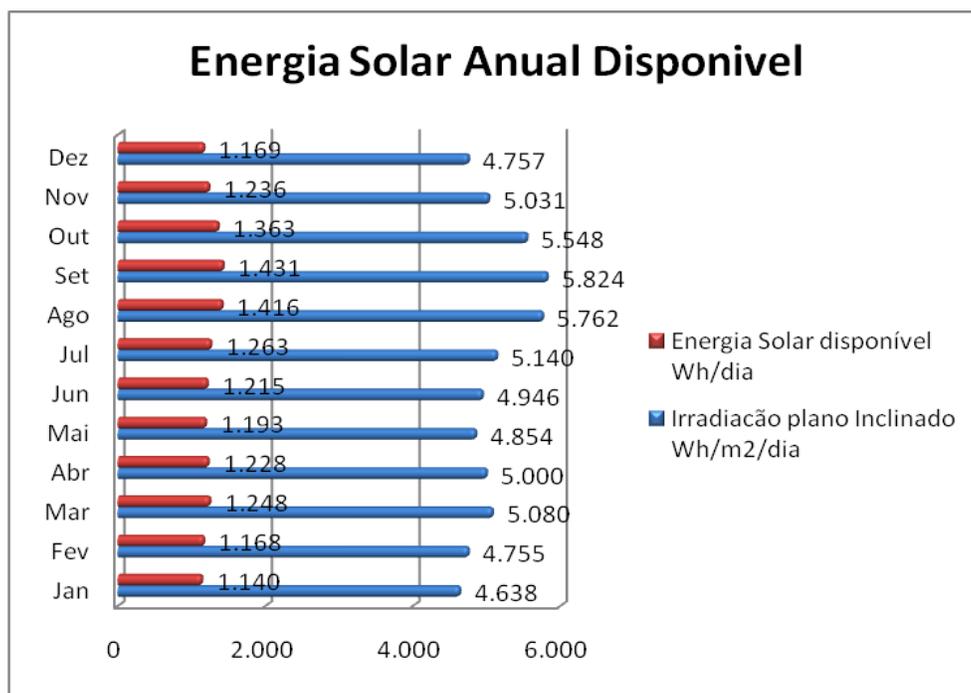


Figura 11. Sistemas Instalados.
Fonte: [14].

No total de 212 consumidores contemplados como mostram a Figura 9, o horizonte está aberto para o desenvolvimento e aproveitamento de recursos naturais antes inviáveis de serem armazenados, como por exemplo, em Autazes com seu pólo leiteiro e de derivados, em Barcelos com o comercio de peixes ornamentais ou ainda em Eirunepé com o destaque do terceiro setor, de serviços, que tem uma necessidade inegável de energia para prover áreas como comunicação e tecnologia para um

melhor atendimento de clientes captados em praças como Rio Branco de Porto Velho.

O equipamento utilizado para tal feito tem origem no fabricante Kyocera um modelo FV KD 135 SX-UPU, Figura 12, que de acordo com a demanda nas comunidades tem sua quantidade instalada de modo a suprir as demandas do local e conjuntamente com outros equipamentos que são os inversores de potência que transformam a energia acumulada nas baterias para uma corrente utilizável nos aparelhos domésticos e iluminação em geral. Já os controladores de carga completam o kit que se pode chamar de kit energia limpa.



Figura 12. Mini usinas..
Fonte: [8].

Os sistemas fotovoltaicos são formados por: gerador fotovoltaico na forma de placas, um controlador de carga, baterias e inversor. A energia gerada nos módulos fotovoltaicos é armazenada nas baterias e aplicada ao inversor que a transforma para o modelo de corrente aceitável pelas unidades consumidoras para 127 ou 220VCA. O sistema FV isolado deve ser projetado para atender a demanda de energia com base nos meses de menor incidência de

radiação solar, com isso a necessidade de um conjunto de baterias sendo responsável pelo aumento no custo de implantação, custo de manutenção e pela redução na produtividade da energia gerada.

Ainda considerando o ponto de vista energético, vale a pena ressaltar que, para a mesma quantidade de matéria prima inicial (uma tonelada de carbono, de petróleo, de urânio, ou de silício residual da indústria eletrônica), as quantidades de eletricidade produzidas são muito diferentes. Para se ter uma idéia, a eletricidade obtida do silício cristalino exposto ao sol é de 20 vezes superior à do urânio, 530 vezes à do petróleo e 820 vezes à do carbono (SERRASPLES et al., 2004).

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE em pesquisas de setembro de 2012 calculou o custo de produção de energia solar no Brasil era de R\$ 602,00 MWh, a partir do custo médio dos equipamentos necessários para suprir a demanda e ainda indica que é custo de produção mais barato que 10 mais caras produtoras de energia no Brasil.

5. CONCLUSÕES

No momento em que o mundo passa não mais por uma crise de petróleo, mas sim por uma mudança de pensamento onde a economia, no atual sistema, deve continuar em crescimento, mas com olhar da sustentabilidade. Sustentabilidade na visão de [15] defende a ideia que para haver uma revolução do pensamento, deve haver um planejamento para que haja uma proteção e monitoramento para a interação seja saudável entre os atores envolvidos aqui neste caso a natureza e homem.

Na aplicação de sistemas fotovoltaicos para a geração de energia e inegável o investimento superior na implantação, mas também incontestável na redução dos custos com combustíveis para o funcionamento tornando seus valores em manutenção irrisórios comparados aos modelos existentes. O fator ambiental não pode ser deixado de lado nessa discussão sobre produção de energia com o aproveitamento do sol não modifica o equilíbrio térmico da Terra. Não obstante é afirmação dessa pesquisa que as plantas solares não causarem impactos como poluição térmica.

Os objetivos dessa pesquisa foram plenamente alcançados levando em consideração o planejamento do projeto Luz para Todos do governo brasileiro, mas como todo e qualquer sistema exigindo intervenções através de manutenções regulares.

No Brasil com todo o conhecimento desenvolvidos nas academias e centros de P&D, é ínfimo o que se utiliza dessas informações. Programas como o Luz para Todos que resolvendo problemáticas com inventividade e técnica para suprir as grandes

distancias amazônicas como demonstrada onde as soluções fotovoltaicas estão instaladas.

A capacidade de produção energética é infinita comparada com disponibilidade de radiação enviada pelo sol, assim produção de energia em regiões isoladas pode determinar o desenvolvimento ou não dessa região, bastando apenas aplicar todo o conhecimento já existente e em constante aprimoramento.

6. AGRADECIMENTOS:

Ao Centro Universitário do Norte (UNINORTE) e ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) pelo apoio à pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] GOLDEMBERG, José: [http:// colunas. revistaepoca.globo.com/ planeta/ 2012/05/24/ jose-goldemberg-a-rio20-pode-nao-fazer-diferenca/](http://colunas.revistaepoca.globo.com/planeta/2012/05/24/jose-goldemberg-a-rio20-pode-nao-fazer-diferenca/). Acessado em 23/05/2014 as 23:35 hs.

[2] LUCENA, A.; SCHAEFFER, R. Mudança do Clima e Economia Verde. In: Caminhos para a sustentabilidade. Cadernos Adenauer XIII, Fundação Konrad Adenauer no Brasil, p. 31 – 51, 2012.

[3] BOYLE (ed.) G. Renewable Energy: Power for a Sustainable Futures. 3º ed. UK: Oxford University, 2012.

[4] ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA ELÉTRICA ANEEL, São José dos Campos 3ª Edição – 2012.

[5] CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa (Brasil). Relatório Projeto GASEIFAMAZ. São Paulo, 2001.

[6] AMAZONAS DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A. Relatório de Administração 2010, Manaus - AM, 2010.

[7] VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações, 1º ed.; São Paulo: Érica, 2012.

[8] ELETROBRÁS AMAZONAS ENERGIA, Resumo do Projeto Mini usinas Fotovoltaicas com Mini rede de Distribuição de Energia Elétrica, 2012.

[9] ELETROBRAS: ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, São José dos Campos 1ª Edição – 2006.

[10] MINISTÉRIO DA MINAS DE ENERGIA (MME). Plano Nacional de Energia 2020-2030. Outras Fontes – Vol. 9, 2007.

[11] GAGNON, Luc; BÉLANGER; Camille, UCHIYAMA; Yohji. Life-cycle assessment of electricity generation options: The status of research in year 2001. Energy Policy, 30, p.1267–1278; 2002.

[12] WILLAMY M. FROTA, WHYLKER M. FROTA, JOSÉ A. S. SÁ, ARTHUR C. ALMEIDA, BRÍGIDA R. P. ROCHA, J. PISSOLATO FILHO. Avaliação Econômica da Inserção do Gás Natural da Amazônia na Matriz Elétrica da Cidade de Manaus, Estado do Amazonas. Simposio Brasileiro de Sistemas Elétricos. Foz do Iguaçu, Paraná, 2012.

[13] SERRASOLLES, J., DE CASTELLET, L., ANCOECHEA, M. e ROMEU, J. (2004). Tejados Fotovoltaicos: Energía Solar Conectada a la Red Eléctrica. PROGNSA (Promotora General de Estudios, S.A.).

[14] Global Solar Atlas, Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA). 2012.

[15] SACHS, Ignacy. Caminhos para o desenvolvimento sustentável. Organização: Paula Yone Stroh. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.



Preliminary Assessment Of Potential Water Savings Actions By Cement Cienfuegos SA PML

Juan Jose Cabello Eras^a, Arturo Alvares Acevedo^b, Alexis Sagastume Gutiérrez^c, Jorge Luis Romero Cabrera^c, Yabiel Pérez Gómez^d

^a Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba, jcabello@ucf.edu.cu

^b Master en ciencias, Cementos Cienfuegos SA, Cienfuegos, Cuba, aalvarez@ccfg.colombus.cu

^c Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba, asagastume@ucf.edu.cu

^d Master en Ciencias, Cementos Cienfuegos SA, Cienfuegos, Cuba, d.jromero@ccfg.colombus.cu

^e Master en Ciencias, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba, ypgomez@ucf.edu.cu

ABSTRACT

The paper makes a quantitative analysis of the main water consumers processes in the company Cementos Cienfuegos SA, from which actions for savings are proposed through the introduction of reuse, collection and use of rain water. A preliminary assessment of the proposed tasks was made, that led to the conclusion that the company has potential to significantly reduce the cost of its invoices in payment of water therefore it could improve the indicators of specific water consumption.

Keywords: cement, water, water reuse, water management.

Evaluación preliminar de las potencialidades de ahorro de agua mediante acciones de PML en “cementos cienfuegos” SA.

RESUMO

En el artículo se realiza un análisis cuantitativo de los principales procesos consumidores de agua en la empresa Cementos Cienfuegos SA, a partir del cual se proponen acciones para su ahorro a través de la introducción del reúso; la recolección y el aprovechamiento de las aguas pluviales. Se hizo una evaluación preliminar de las tareas propuestas; que permitieron concluir que la empresa cuenta con potencialidades para reducir de manera significativa los importes de sus facturas por concepto de pago de agua de manera que le permitirían mejorar los indicadores de consumo específico de agua.

Palabras claves: cemento, agua, reutilización del agua, gestión del agua.

1 INTRODUCCIÓN

Las plantas cementeras utilizan grandes volúmenes de agua en sus procesos productivos, en la fabricación mediante proceso húmedo se consumen mayores cantidades debido a su utilización para la obtención de las colas y en la fabricación por vía seca el uso está orientado fundamentalmente al enfriamiento de los equipos tecnológicos.

A finales del siglo pasado en las fábricas de cemento se necesitaban entre 0,4 y 0,6 m³ de agua por tonelada de cemento producida, en su mayoría para la refrigeración de las máquinas a través de circuitos cerrados en los que solo se deben reponer las pérdidas y en las plantas que trabajan con método seco para la refrigeración de los gases de escape de los hornos. En las

instalaciones que trabajan con el método húmedo se necesitaba aproximadamente otro metro cúbico por tonelada de cemento para la molienda del lodo [2].

En los últimos años la industria cementera ha logrado importantes avances en la eficiencia en la utilización del agua en la fabricación de cemento y varias empresas reportan valores del consumo específico de agua de entre 50 y 360 litros por tonelada [10].

La Fábrica de Cemento de Cienfuegos fue inaugurada en 1982 y en 2001 fue sometida a una reparación capital que dio solución a los principales problemas ambientales que presentaba en su funcionamiento, particularmente las emisiones de polvo y hoy es una empresa reconocida por su buen desempeño

ambiental. La tecnología de producción es por vía seca. La Fábrica inicialmente la conformaban tres líneas paralelas de producción con una capacidad instalada de 1 500 000 ton/año de Clinker, después de la modernización quedo con dos líneas e igual capacidad instalada y su producción ha ido aumentando gradualmente y en 2010 produjo 1 016 400 ton y el 2011 cerró con 1 023 479 ton.

Además del consumo de agua en las partes típicas en la fabricación por el método seco en la fábrica se consume agua en las instalaciones no industriales, principalmente el riego de las áreas verdes que constituyen un sistema ambiental destinado a asegurar que el polvo depositado en el terreno no vuelva a suspenderse en el aire, evitar la erosión. También se presenta un consumo social de agua en los baños y en la elaboración de alimentos.

En Cementos Cienfuegos S.A. como parte de su estrategia ambiental se ha establecido un programa de ahorro de agua que en los últimos dos años ha venido disminuyendo sustancialmente los índices de consumo de agua lo que se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Producción e índice de consumo de agua en 2010 y 2011. Fuente de los datos [1].

Año	2010	2011
Producción (ton)	1 016 400	1 023 479
Consumo de agua (m ³)	541 599	358 948
Índice de consumo (m ³ /ton)	0,53	0,35

Estos resultados están aún lejos de los mejores reportados por otras fábricas que llegan incluso a consumir menos de 0,1 m³/ton aplicando criterios de Producción Más Limpia como es reciclado y reutilización del agua.

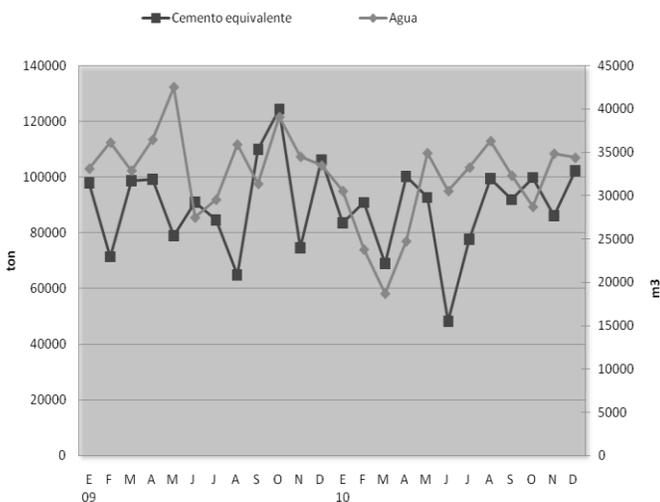


Figura 1. Gráfico de consumo de agua y producción de cemento equivalente datos: [1]

En la Figura 1 se muestra el comportamiento de la producción y el consumo de agua mensual durante 2010 y se aprecia claramente que no hay una correlación entre ambos parámetros, esto evidencia que existen potencialidades de mejora no explotadas en el proceso.

Esta no correlación se encuentra en primer lugar causada por el hecho de que el consumo de agua en la empresa se registra mediante un contador a la entrada a la instalación y por lo tanto incluye el consumo de agua no asociada al proceso, en segundo lugar a malas prácticas e ineficiencias en diferentes etapas de proceso productivo.

El presente trabajo está orientado a la evaluación de las potencialidades de mejora en el uso racional del agua en esta fábrica y a proponer acciones para esto.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO Y BALANCE DEL USO DEL AGUA.

En la figura 2 se puede apreciar el esquema del proceso productivo de Cementos Cienfuegos a SA, esto comienza con la extracción de la materia prima en las minas y su transporte hacia la estación de trituración y secado, de donde se envía a través de transportadores de banda hacia los silos de almacenamiento.

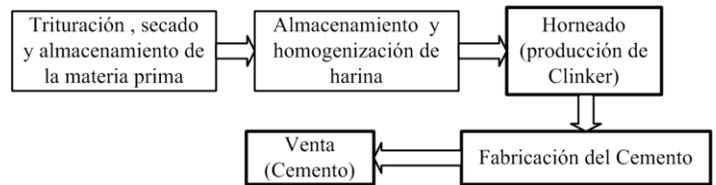


Figura 2. Esquema del proceso productivo de Cementos Cienfuegos SA. Fuente: [1].

El despolvado en el área de trituración se realiza mediante 2 separadores ciclónicos, a la salida del secador se encuentra instalado el filtro de mangas (casa de bolsas) y en cada torre de transferencia de las bandas transportadoras hasta la fábrica se instalaron filtros de manga.

En el proceso de preparación de materias primas no se utiliza agua. En el área se encuentra enclavado un comedor para los doce trabajadores que operan la instalación, que cuenta además con dos instalaciones sanitarias, dos bebederos, que entre todos consumen un total promedio de 9000 litros de agua semanales.

Las materias primas adecuadamente dosificadas son conducidas a la estación de molienda de crudo, donde pasan por un triturador secador de impacto, el grueso pasa al molino de bolas, el polvo de arrastre pasa al separador, y el fino pasa a la batería de ciclones. El material separado pasa a un sinfín recuperador y el aire pasa a la torre estabilizadora donde se enfría y se envía al electrofiltro. El material separado es enviado a los

silos de almacenaje para su homogenización. En esta etapa se consume agua en el enfriamiento de las chumaceras y los reductores de los molinos, la instalación cuenta con tres molinos y el consumo de cada uno es de 30 m³ de agua por hora de trabajo, por lo que el consumo total de la instalación es de 90 m³ por hora.

De los silos de almacenaje, la harina homogeneizada es conducida al precalentador, y de ahí pasa al horno rotatorio donde ocurre la transformación en Clinker. Posteriormente a través de un transportador de cangilones el Clinker es enviado a los silos de almacenamiento.

En el proceso de pirolización de la harina se consume agua en el enfriamiento de las chumaceras y rolos del horno a través de un circuito cerrado que tiene incorporada una torre de enfriamiento.

El flujo de gases calientes con alto contenido de polvo que sale del horno es filtrados a través de un sistema compuesto por tres electrofiltros, antes de la entrada a estos el flujo pasa a través de tres torres estabilizadoras donde es rociado con agua para reducir su temperatura y mejorar sus propiedades eléctricas, lo que aumenta la efectividad del filtrado.

Para el rociado en las torres estabilizadoras se utiliza agua proveniente del circuito cerrado de refrigeración de la maquinaria, siendo esta la mayor fuente de pérdidas a reponer en este ya que el agua rociada en su mayor parte se evapora y transfiere a la atmósfera con los gases de escape.

Tabla 2. Balance de agua de las instalaciones.

Sistema Tecnológico	Consumo, [m ³ /h]	
	Entrada	Salida
Molinos de crudo		
361-MB1	30	30
362-MB1	30	30
363-MB3	30	30
Hornos		
Horno Línea I	33	33
Horno Línea II	21.3	21.3
Molino de Petcoke		
Enfriamiento del sistema de lubricación	50.8	50.8
Torres acondicionadoras		
421-TA1	8	
422-TA1	12	
423-TA1	10	
Sistema de aire comprimido.		
Sala de compresores	341.5	341.5
Pérdidas en la torre de enfriamiento (3 %)		
Reposición	19,8	

Fuente de los datos: [1].

El circuito cerrado de refrigeración de la maquinaria también tiene incorporado a la estación de compresores y el molino de petcoke utilizado para la preparación de este combustible utilizado en el horno.

El agua no asociada directamente al proceso incluye además el riego a los jardines, el remojado de las pilas de petcoke para evitar la emisión de polvo y mantener su temperatura por debajo de 70 grados centígrados.

En la tabla 2 se resumen el balance del consumo de agua en estas instalaciones, el total de la demanda de agua de enfriamiento en el circuito cerrado es de 566,6 m³/h, las pérdidas producto del rociado en las torres de estabilización es del orden los 30 m³/h y las pérdidas en las torre de enfriamiento según sus parámetros de diseño son de 19,8 m³/h. La significación anual de estas pérdidas se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Resumen del consumo de agua en las torres estabilizadoras y de enfriamiento.

	Línea II		Línea
	Torre III III	Torre II II	Torre I I
Consumo de agua m ³ /h	10	12	8
Tiempo de operación h/d	12	12	12
Consumo anual m ³	39600	47520	31680
Consumo anual en las torres 118800			
Torre de enfriamiento			
Pérdidas de agua m ³ /h	19,8		
Tiempo de operación h/d	12		
Consumo anual torre de enfriamiento, m ³	76 032		

Fuente: elaboración propia.

El consumo de agua no industrial tiene tres componentes principales:

- Rociado le las pilas de carbón el que se dedican 3 m³ por hora diurna con el objetivo de mantener su temperatura por debajo de los 70 grados centígrados y reducir la emisión de polvo.
- Riego de las áreas verdes, a lo que se dedica según los estimados agronómicos de 15 000 m³/año y se realiza con agua proveniente del circuito de enfriamiento de las maquinas.
- Consumo social en los baños e instalaciones sanitarias, oficinas, laboratorios y elaboración de los alimentos. Este consumo no se mide pero se puede estimar a partir del balance de agua, en el año 2010 restando a los 358 943 m³ de agua registrados a la entrada se restan los 194 000 m³ de pérdidas en el circuito de enfriamiento, los 15 000 m³ dedicados al riego y los 9 000 m³ dedicados rociar las pilas de carbón y se obtiene un estimado de 150 000 m³.

Según estos cálculos el índice de consumo considerando solo el agua utilizada directamente en el proceso de fabricación de cemento estaría en el orden de los 0,19 m³/ton, más cercano a los resultados internacionales.

3 EVALUACIÓN DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUA EN EL PROCESO.

La evaluación de la reutilización de agua en el proceso estará orientada a independizar el suministro del agua para las torres estabilizadoras de los electrofiltros y para el riego del circuito cerrado de refrigeración de la maquinaria de donde proviene actualmente. Lo que permitirá buscar fuentes alternativas para este consumo.

En las torres estabilizadoras el agua es rociada directamente al flujo de polvo y gases antes del electrofiltro, desde un tanque de 1 000 m³ (independiente para cada torre, el flujo de agua es regulado por una válvula automática en función del gasto másico de gases y su temperatura a la entrada de la torre). Esta agua proviene del circuito cerrado de agua de enfriamiento a través de bombas situadas en la torre de enfriamiento, las que se encargan de mantener el nivel del tanque mediante un sistema automático de control del nivel y recirculación nuevamente a la torre de enfriamiento.

Tabla 4. Valores comparativos de la composición del agua de enfriamiento y salida de la laguna de oxidación.

Parámetros	U/M	Salida de la laguna	Agua tecnológica
Fósforo Total	mg/L	0.276 ± 0.062	0.765
NTK	mg/L	0.97 ± 0.38	-
DQO	mg/L	56 ± 10.1	-
DBO5	mg/L	27.5 ± 8.8	-
Sólidos sedimentables	ml/L	<0.2 ---	<0.01
Sólidos Suspendidos	mg/L	38.8 ± 7.8	<1
OD	mg/L	8.12 ± 0.12	-
pH	Unidades de pH	7.43 ± 0.07	7.5 – 8.5
Temperatura	°C	25.3 ± 0.2	
Ce	µs/cm	502 ± 12.6	1000
Grasas y Aceites	mg/L	249 ± 81	<100
Dureza Total	mg/L	---	0.2 - 0.4

Fuente: Registro ambiental de Cementos Cienfuegos S.

La propuesta concreta consiste en independizar el sistema de suministro de agua para las torres estabilizadoras, del circuito de agua de enfriamiento directamente en el colector de

salida de la torre de enfriamiento y suministrar a las torres y eventualmente para el riego el agua de salida del sistema de lagunas de oxidación de la planta, al que se encuentran conectado además otras instalaciones cercanas.

La cuantificación de la emisión del sistema de lagunas realizadas por la Autoridad Ambiental es del orden de los 260 000 m³/año, siendo obligatorio según las regulaciones vigente verter al medio el 60 %, lo que deja disponibles 100 000 m³/año de agua.

En la tabla 4 se puede apreciar la comparación entre los parámetros de agua utilizada en el circuito cerrado de enfriamiento y el agua de salida del sistema de lagunas de oxidación.

De la tabla anterior se concluye que las características del agua tecnológica difieren respecto al agua de salida de la laguna en los sólidos sedimentables y las grasas y aceites respectivamente, siendo superiores a los exigidos para el sistema de agua de enfriamiento del circuito cerrado de la planta, desde donde se alimenta el sistema de rociado de las torres estabilizadoras de los electrofiltros por lo que se hace necesario su tratamiento mediante una estación de tratamiento adicional. En la figura 3 se muestra el esquema del circuito de suministro que se requerirá para implementar esta solución.

En el diagrama de la figura 3 se aprecia que para el bombeo de agua desde la instalación de tratamiento hacia los tanques de consumo de las torres estabilizadoras serán colocadas tres bombas (una trabajando, una en reserva activa y otra en mantenimiento) con el objetivo de garantizar la seguridad del trabajo de las torres.

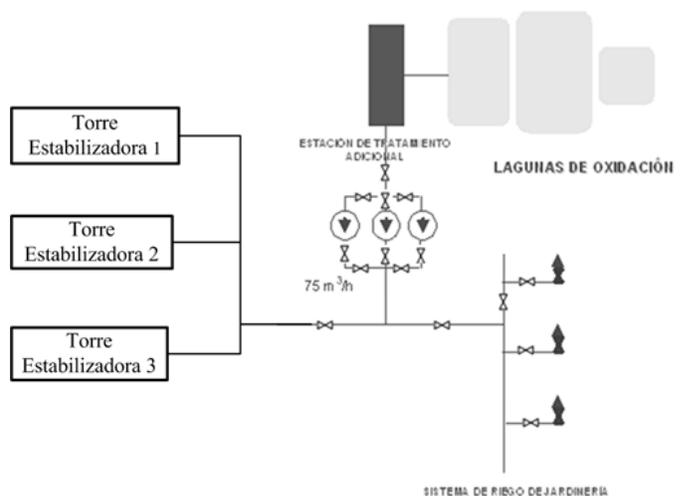


Figura 3. Circuito para el suministro de agua reutilizada a las torres estabilizadoras.

Por otro lado se interconectará a esta línea una derivación para el suministro de agua a los rociadores de la jardinería, el objetivo es mantener un flujo de agua continuo a la

Ed. 001. VOL 001 – ISSN 2447-0228 (online)

planta de tratamiento, ya que el consumo de agua de las torres no tiene un comportamiento estable en el tiempo, por lo que existen excedentes de agua en determinados momentos que de no utilizar en la jardinería tendría que ser descargado a la cuenca.

En general la reutilización del agua residual a la salida de las lagunas de oxidación tendría un significativo aporte económico ya que permite recuperar un volumen de agua estimado del orden de los 100 000 m³/año a un costo de 0.30 \$/m³, representa 30 000 \$/año de ahorro.

Tabla 4. Evaluación preliminar de factibilidad de la inversión para la reutilización del agua.

Costos de inversión y mantenimiento.	
Bombas unidad (1000 \$ x 3)	3000.00 \$
Tuberías (1000 m x 1.56 \$)	1560.00
Sistema de tratamiento	26 000.00 \$
Costo total del equipamiento	30 560.00 \$
Mano de obra	1200.00 \$
Insumos	1500.00 \$
Costo total de instalación	2700.00 \$
Inversión total	33 269 \$
Costos de operación anuales	4200 \$

Fuente: elaboración propia.

De este cálculo preliminar se concluye que la inversión se pagaría en poco más de un año, la inyección de alrededor de 100 000 m³ de agua reutilizada permitiría un estimado de reducción del índice de consumo general de agua en la planta contra agua facturada a 0,25 m³/ton y del índice de consumo productivo respecto al agua facturada para el año 2111 a 0,19 m³/ton.

4 EVALUACIÓN DE LA POTENCIALIDAD DE APROVECHAMIENTO DEL AGUA PLUVIAL.

La captación de agua de lluvia es un medio relativamente simple de obtener agua para consumo de planta. En muchas industrias del mundo con alta o media precipitación y en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para las operaciones tecnológicas, se recurre al agua de lluvia como fuente de abastecimiento. Al efecto, el agua de lluvia es interceptada, colectada y almacenada en depósitos para su posterior uso. En la captación del agua de lluvia se acostumbra a utilizar la superficie de las edificaciones industriales como captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos). Este modelo tiene un beneficio adicional es que además de su ubicación minimiza la contaminación del agua.

La captación de agua de lluvia presenta como ventajas que no requiere energía para la operación de recolección, facilidad de mantenimiento, comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia.

En el proyecto inicial del emplazamiento de la planta se establece que la totalidad del área productiva se encuentra ubicada sobre una red de recolección de aguas pluviales mediante canales y sistemas de captación desde las edificaciones con el objetivo de excluir las posibles inundaciones internas y canalizar estas aguas hacia el canal de incorporación a la cuenca.

Este canal de salida está conectado a una depresión del terreno con profundidad media de 17 m y un área de 90 m x 85 m, con un volumen de llenado máximo estimado de 130 000 m³según los datos del proyecto civil.

Para la determinación del volumen de agua anual recolectada se parte de la determinación de la precipitación promedio mensual a partir de los datos promedio mensuales de precipitación de los últimos 10 o 15 años. Este valor se expresa en los litros por metro cuadrado y por mes que es capaz de colectarse en la superficie horizontal del techo.

En el caso de Cementos Cienfuegos S.A. las precipitaciones tienen dos períodos bien definidos: lluvioso de mayo a octubre y seco de noviembre a abril, con una media anual de 1400 a 1500 mm. El promedio para el período lluvioso es de 900 a 1000 mm y para el período seco es de 200 a 250 mm. El promedio de días con lluvia en el año es de 132 días.

Considerando una relación de recolección establecida para edificaciones y plazoletas donde 25 mm de lluvia en 1 m² recolecta 8.55 litros de agua lluvia, las instalaciones de Cementos Cienfuegos S.A. con un área no verde de 330 000 m² y una media anual de 1450 mm de precipitación anual, tiene potencialidad de acumular 163 647 m³ de agua, de estos sería obligatorio según las regulaciones vigentes aportar el 60 % a la cuenca lo que permitiría disponer en una año de comportamiento normal de las lluvias de un estimado de 90 000 m³ para su utilización como agua industrial .

El embalse de esta agua permite ahorrar por concepto de reducción de la factura de agua de 27 000 \$. Para implementar este sistema solo se necesita restablecer la cortina de la depresión donde se almacenaría el agua aproximadamente 5 m de longitud y un espesor de 4 m y altura de 3.7 m, para lo que es necesario un volumen de 150 m³ de áridos, que puede ser extraído de las propias canteras de la fábrica y con la maquinaria propia a un costo mínimo para la empresa.

5 CONCLUSIONES

La fábrica Cementos Cienfuegos SA tiene potencialidades para reducir a la mínima expresión la facturación de agua para la fabricación de cemento y mejorar notablemente sus indicadores de consumo.

El uso de agua con fines no productivos debe ser objeto de atención al tener una elevada significación en el consumo general de la fábrica, del orden del 40 %.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[1] Álvarez Arturo. **Propuesta de acciones de producción más limpia para el ahorro de agua en Cementos Cienfuegos SA.** Tesis de maestría. Universidad de Cienfuegos. 2011.

[2] Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). 1995. **Guía de protección ambiental. Material auxiliar para la identificación y evaluación de impactos ambientales.** Ed Agencia Alemana de Cooperación al Desarrollo (BTZ) .Eschbom. Alemania.

[3] <http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/ENV/envsp/Vol232.htm>

[4] Holcim Colombia S.A. Ecoprocesamiento. <http://www.ecoproc.esam.com/noticia5.html> último acceso Junio2014.

[5] Red Interinstitucional de Tecnologías Limpias (RITL). Colombia. **Reconversión tecnológica en la planta nobsa cementos boyaca s.a.** www.tecnologiaslimpias.org/html/archivos/casos/Caso%20ID22.doc último acceso Junio2014.

[6] Titan SA. **Corporate Social Responsibility and Sustainability Report** 2010. <http://report2010.titan.gr/en/environmental-footprint/water-consumption/> último acceso Enero 2014.

[7] Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSP). Cement Production. http://www.iea-etsap.org/web/E-TechDS/PDF/I03_cement_June%202010_GS-gct.pdf último acceso Junio2014.

[8] Cement Australia. Environmental performance. **Water management.** <http://www.cementaustralia.com.au/wps/wcm/connect/website/cement/home/sustainable-development/environmental-performance/> último acceso Junio2014.

[9] Irish cement. **Water consumption** [.http://www.irishcement.ie/sustainable-development/sustainability-performance/water-consumption/](http://www.irishcement.ie/sustainable-development/sustainability-performance/water-consumption/) último acceso Junio2014.

[10] Binani Cement Limited. **Environmental statement for the financial year ending the 31st March 2012.** <http://www.binaniindustries.com/csr/pdf/env-statement2011-2012-new-cement-plant.pdf> último acceso Junio 2014.



Study Of Quality And Reliability Of Welding Process Reflow Component Technology BGA

Robson Marques Costa^{1*}, Jandecy Cabral Leite^{2*}, Antonio da Silva Vieira¹, Raimundo Valdan Pereira Lopes¹, Roberto Tetsuo Fujiyama¹

¹Programa de Pós Graduação em Engenharia Industrial-PPGEI/Universidade Federal do Pará –UFPA. Rua Augusto Correa 01 Guamá. Belém – Pará - Brasil. CEP: 66075-110. Fone: +55 (92) 33215643 ou +55 (92) 91292218.

²Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM Praça Francisco Pereira da Silva, 149, Bola da Suframa – Distrito Industrial. Manaus – Amazonas – Brasil. CEP: 69073-270. Fone: +55 (92) 3639-8952 ou +55 (92) 3584-6145.

*robson_m_costa@hotmail.com, *jandecy.cabral@itegam.org.br

ABSTRACT

In recent years many efforts have been expended by companies in the search for technological improvement of its products by adding features such as light weight, reduced size and high levels of performance at the lowest cost, to meet a worldwide demand in this regard. This article aimed to conduct an analysis of the quality and reliability of the Reflow soldering process of component of BGA technology. The methods and techniques used were the qualitative-quantitative approach, conducted by the case study technic in the welding process of the BGA component by collecting (cross section and X-ray) and data analysis (alignment, cracks and voids) within the process. The achieved results showed that the Reflow welding process of BGA component meets the criteria for acceptance of international standards IPC -A - 610E and IPC 7095B. This fact leads to the inference that the quality of the process in question may reflect in better conditions and cost competitiveness for the investigated organization.

Keywords: Quality in the process, Reflow Soldering, BGA component, Cross section, Cracks and Voids.

Study Of Quality And Reliability Of Welding Process Reflow Component Technology BGA

RESUMO

Atualmente muitos esforços vêm sendo despendido por empresas na busca por aperfeiçoamento tecnológico dos produtos agregando aspectos como leveza, redução de dimensão e altos níveis de desempenho ao menor custo, visando atender uma demanda mundial. Este artigo objetivou realizar um estudo de qualidade e confiabilidade do processo Reflow de soldagem de componente de tecnologia BGA. Os métodos e técnicas utilizadas foram a abordagem qualitativo-quantitativo, orientado mediante técnica de estudo de caso no processo de soldagem de componente BGA mediante coleta (cross section) e análise de dados (alinhamento, cracks). Os resultados obtidos demonstraram que o processo Reflow de soldagem do componente BGA atende a critérios de aceitabilidade de normas internacionais IPC-A 610E e IPC-7095B. Tal fato leva a inferir que a qualidade do processo em questão pode refletir em melhores condições de custo e de competitividade para a organização investigada.

Palavras Chaves: Qualidade no processo, Soldagem Reflow; Componente BGA, Cross section, Cracks.

1 INTRODUÇÃO

A revolução recorrente nos dispositivos eletroeletrônicos nos últimos anos é motivada pela agregação de inteligência as funcionalidades destes dispositivos. A evolução da tecnologia nos componentes eletroeletrônicos destes produtos

acarreta por efeito uma miniaturização dos componentes e aumento no desempenho de funcionamento, obedecendo a tendência em dispositivos eletrônicos em direção a dispositivos menores e mais leves, com aumento de funcionalidades [1], contudo, a miniaturização torna a montagem e soldagem destes componentes mais complexa, exigindo um nível de controle

e confiabilidade do processo cada vez maior. A empresa pesquisada apresenta em seu processo Produtivo de Placas de Circuito Impresso Mother Board (PCI MB) de Laptops uma etapa em que é realizada a soldagem Reflow de componentes de tecnologia BGA, e pode-se dizer que é difícil verificar e alertar as falhas anteriormente, porque as falhas são causadas por vários fatores, tais como termo-mecânicos e estresses de choque [2], entretanto, a empresa desconhece o nível de qualidade e confiabilidade do processo de soldagem Reflow realizado neste processo, limitando-se somente a verificar presença de Voids nos BGA, e tal conhecimento do processo é importante, pois quanto mais uma organização investe em medidas preventivas mais eles são capazes de reduzir os custos de falhas e a consequente otimização de custos da qualidade gera oportunidade de maior lucro mantendo o mesmo preço para o produto [3].

Logo, o objetivo deste artigo foi realizar uma pesquisa que diagnosticasse a qualidade e confiabilidade do processo de soldagem Reflow de componente de tecnologia BGA após a realização da soldagem Reflow do componente em PCI's MB de Laptop em uma empresa do Polo Industrial de Manaus (PIM). A empresa em estudo ao longo do ano de 2013 passou por um processo de migração de Tecnologia de Solda Tin-Lead para Lead-Free, atendendo uma demanda internacional, no entanto, esta transição agrava os problemas de processo, pois as ligas lead-free são geralmente mais duras e mais quebradiço do que soldas de chumbo-estanho convencionais [4]. Uma das consequências não intencional desta migração é que a indústria teve que recorrer a novos métodos para a soldagem de componentes nas placas, isto vem em um momento em que a indústria de semicondutores está desenvolvendo componentes continuamente menores e acomodando maiores funcionalidades [5].

A pesquisa em questão justifica-se pela necessidade de um diagnóstico do processo de soldagem em fase de implantação, pois o uso de materiais e processos isentos de chumbo, também leva a novas preocupações com a confiabilidade [6], tornando-se este tipo de pesquisa imprescindível para qualquer organização que pretenda oferecer a seus clientes um produto de qualidade, evitando assim que a empresa assuma riscos de confiabilidade de seus produtos ao dispo-los no mercado, e podendo tornar-se tal pesquisa referencia para trabalhos futuros dentro da organização.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ball Grid Array (BGA)

Componentes do tipo Ball Grid Array (BGA) são comumente usado em indústria de microeletrônica que trabalham com alta densidade pino (terminais), boa condução de calor e

baixo custo [7]. A Tecnologia BGA está entre os mais atraentes e amplamente utilizados opções de encapsulamento por causa de muitos benefícios, como a redução de problemas de coplanaridade, redução do tamanho, melhor performances elétrica e térmica etc [8].

O BGA é utilizado em vários tipos de componentes, entre eles chipsets e chips de memória. É um tipo de componente onde os terminais de contato do tipo esfera. A Figura 1 mostra um componente tipo BGA e seus Balls.

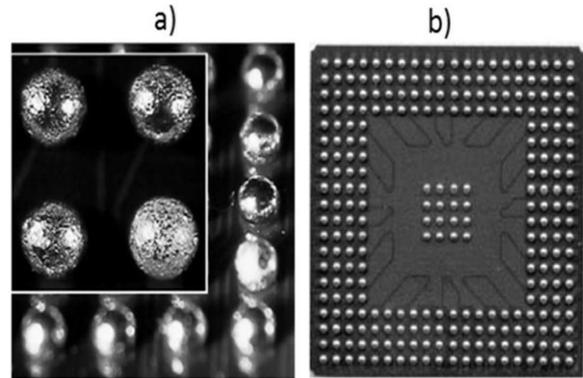


Figura 1: a) Esferas do componente (Ball) Liga SnAgCu; b) Componente BGA.

A placa MB que recebe este componente passa pelo processo SMT típico: Impressão de Pasta de Solda, procedimento de aplicação de pasta de solda montagem do componente (Place Component) e soldagem no forno de refusão. Após a soldagem do BGA na PCI as esferas (Balls) não ficam visíveis. A Figura 2 mostra o fluxo do processo SMT para o componente BGA [9], neste processo (1) mostra a PCB, (2) a printagem da solda em pasta de solda sobre a PCB, (3) a montagem do componente BGA e (4) a soldagem do componente.

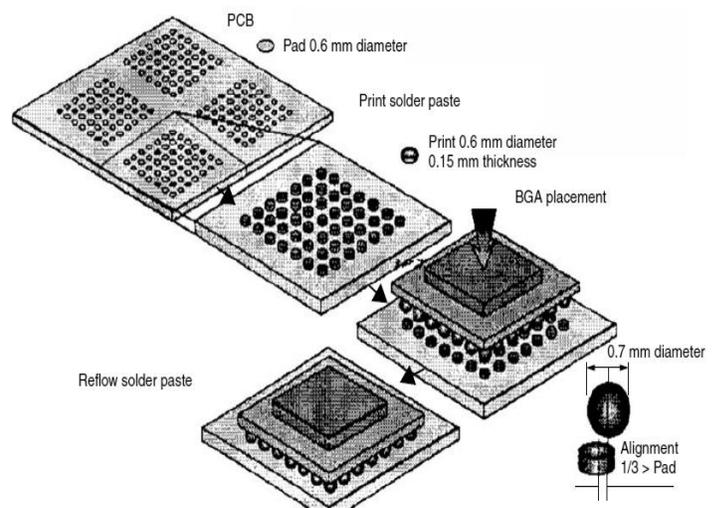


Figura 2: Fluxo do processo de montagem de um BGA.

2.2 Processo Reflow

O perfil de tempo- temperatura de Reflow é de grande importância no processo de soldagem de forno de refusão. O perfil é a relação de temperatura com respeito ao tempo necessário para levar a solda da montagem de PCI do estado líquido e de volta ao estado sólido antes de sair do forno [10]. O Processo de Reflow é uma parte do processo de Tecnologia de Montagem sobre Superfície (SMT), tecnologia onde os componentes são montados diretamente sobre a superfície da placa de circuito impresso [11].

Processos de Linhas de montagem SMT geralmente envolvem pasta de solda, e colocação dos componentes. O processo Reflow de soldagem consiste em aquecer toda a placa montada para liquefazer a pasta de solda para formar juntas de solda entre os SMDs e o PCB sem alterar as características originais dos componentes elétricos, sendo um forno de refusão utilizado para aquecer as placas montadas a uma temperatura apropriada em um especificado período de tempo a uma taxa de aquecimento adequado [13]. Um modelo característico de perfil recomendado é descrito na Figura 3 [13]:

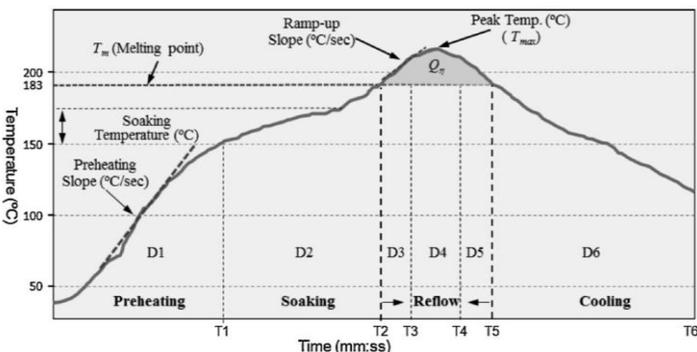


Figura 3: a) Perfil de temperatura típico de Reflow

2.3 Norma IPC

A IPC – Association Connecting Electronics Industries é uma associação comercial global dedicada a excelência competitiva de suas empresas filiadas ao redor do mundo. A IPC serve a indústria de eletrônicos, voltada especificamente para os fabricantes relacionados de alguma forma ao processo de Placas Impressas com padrões de aceitabilidade internacionalmente aceitos [14]. IPC Normas e Publicações são projetados para servir o interesse público através da eliminação de mal-entendidos entre fabricantes e compradores, facilitando a intercambialidade e melhoria de produtos, e auxiliando o comprador na seleção e obtenção com atraso mínimo do produto adequado para sua necessidade particular [15]. Dentre as Certificações existentes na IPC, este artigo utilizou a IPC-7095B,

cujo foco sobre as informações estão em inspeção crítica, reparo e problemas de confiabilidade associados BGAs [15].

2.4 Implementação de Solda Lead-free

A União Europeia aprovou uma legislação, a Diretiva RoHS (Restriction of Hazardous Substances), que proíbe o uso de chumbo (Pb) e várias outras substâncias em produtos eletrônicos com início de julho de 2006 [16]. Deste ano em diante o uso de um dos componentes mais utilizados na solda, o chumbo, não seria mais usado em solda eletrônica devido à legislação, entre alternativas sem chumbo, a solda lead free (SnAgCu) é um substituto amplamente aceito, devido à sua melhor fluência fadiga resistência e a estabilidade microestrutural [17].

Um dos principais diferenças entre SnPb e SnAgCu soldas sem chumbo é que soldas SnAgCu exigem maior temperatura de Reflow que soldas SnPb, o ponto de fusão é 217 °C - 219 °C, superior ao da solda SnPb, que tem um ponto de fusão de 183 °C [18].

Também é necessário verificar a adequação dos componentes de montagem, devem ser tomadas medidas para proteger os componentes contra dano potencial provocados pelas temperaturas de Reflow superior e a qualidade e confiabilidade de juntas e materiais de solda e sua adequação para uma determinada aplicação deve ser verificada [19]. O componente BGA é um exemplo amplamente utilizado em placa de circuito impresso por processo de soldagem reflow, o qual é um dos itens crítico em tecnologia de montagem em superfície. Junta de solda quebra é um dos principais modos de falha devido ao processo lead free de solda reflow inadequado [20]. Atualmente empresas brasileiras que exportam para a União Europeia, países que adotaram a Rohs e que participam de programas de licitação nacional já migraram para uma tecnologia de solda sem chumbo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir descrevem-se os principais aspectos metodológicos empregados na elaboração deste estudo de caso, que teve como foco central o diagnóstico estudo de nível de qualidade e confiabilidade do processo de soldagem realizada na troca de componentes de tecnologia BGA.

3.1 Natureza da Pesquisa

Este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa descritiva, que utiliza a técnica do estudo de caso como ferramenta de coleta e análise de dados, com uma abordagem tanto qualitativa quanto quantitativa, o método do estudo de caso

permite que os investigadores retenham as características holísticas e significativas dos eventos da vida real [21].

3.2 Definições da oportunidade da Pesquisa

O uso de componentes de tecnologia BGA necessita por parte das empresas de um complexo monitoramento do processo para assegurar a confiabilidade de soldagem. Esta pesquisa foi desenvolvida com base no processo de soldagem Reflow de componentes de tecnologia BGA, teve como objetivo realizar um estudo para diagnosticar a qualidade e confiabilidade da soldagem neste processo. Optou-se por realizar um estudo deste processo de soldagem de BGA, pois esta fase caracteriza-se como uma etapa complexado processo dada a miniaturização dos componentes. Os BGAs evoluíram como uma solução viável para a exigência da indústria e com este tipo de componente, a confiabilidade da junta de solda se tornou um dos fatores mais críticos do processo [22].

3.3 Das Etapas

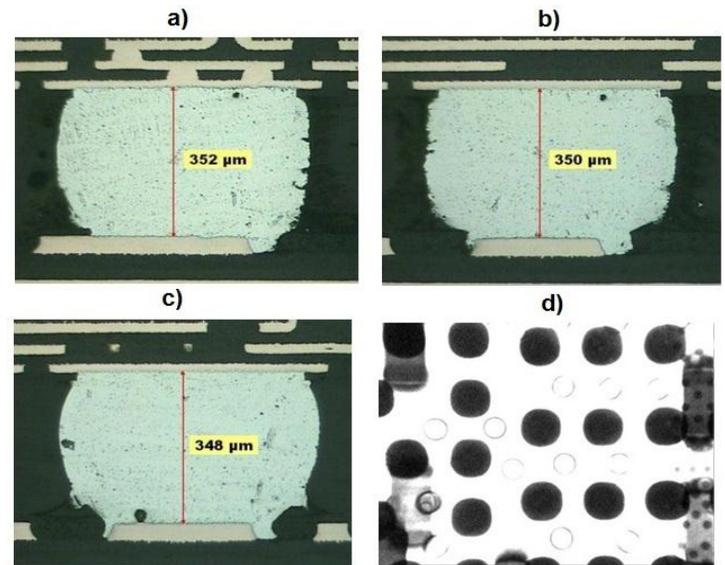
Para o estudo de caso, utilizou-se de revisão de literatura sobre os conceitos fundamentais relacionados ao tema, busca de artigos recentes sobre aplicação similares e Normas técnicas Internacionais IPC-A-610E e a IPC-7095B para diagnosticar a aceitação da soldagem do tipo de componente estudado. Inicialmente, buscou-se uma fundamentação teórica por meio de artigos científicos onde se verificou que o ensaio cross section é largamente utilizado para este tipo de estudo. O ensaio de cross section foi realizado em um laboratório de reconhecimento nacional e os dados do ensaio foram tabulados assim como as imagens fotograficas do componente obtidas por meio de microscópio eletrônico.

3.4 Delimitação da pesquisa

Estudos de confiabilidade de soldagem têm vasta aplicação em diversos componentes no são mais comumente utilizados para avaliação da soldagem: O Cross-section e o Dye & Pry. Este artigo está delimitado ao estudo de um componente de tecnologia BGA de posição mecânica U22 da PCI MB de um Notebook e o tipo de no segmento eletroeletrônico e dois tipos ensaios são mais comumente utilizados para avaliação da soldagem: ensaio mecânico que será realizado é o Cross-section que mostrará características dos BGA's situados no canto direito, no canto esquerdo e no centro do componente. Como delimitação temporal, as amostras de PCI MB foram coletadas entre Abril e Maio 2013, de tal forma que possibilitou um acompanhamento do desempenho do processo em períodos sequências.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta pesquisa foi desenvolvida com base no estudo do processo de soldagem Reflow de componentes de tecnologia BGA avaliando a qualidade e confiabilidade da soldagem. Esta atividade esta inserida no processo de fabricação de Notebooks e a pesquisa foi realizada no período de 01 de Abril a 31 de Maio de 2013. Conforme descrito na metodologia, foi delimitado nesta



pesquisa como ensaio de avaliação o método Cross-section do BGA. O ensaio cross section foi realizado externamente em um laboratório de análises credenciado e os dados obtidos no componente BGA a partir deste ensaio são mostrados na Figura 5.

Figura 5: *Cross Section* e Raio X: a) Ball do canto Esquerdo U22; b) Ball do canto Direito U22; c) Ball do centro U22 e d) Raio X do BGA.

A Figura 5 mostra respectivamente as imagens obtidas com a ampliação 100X por microscópio óptico do corte realizado no Ball do BGA no canto esquerdo (a), canto direito (b), Ball do centro (c) e (d) componente BGA em estudo.

4.1 Análise dos Resultados

Analisando os resultados da Figura 5 com base nos requisitos da IPC A-610E e IPC-7095B é possível constatar que:

i) O alinhamento do componente é considerado aceitável.

O posicionamento do solder ball do BGA é centrado e não mostra nenhum deslocamento do Ball para os centros de Pad [14]. A Figura 6 mostra imagem de alinhamento do Ball segundo a IPC A-610E.

ii) Não foram encontrados rachaduras (cracks) nos Balls.

A Figura 6 mostra o crack de um ball especificado pela IPC A-610E, um crack de um ball e um ball sem crack segundo a IPC-7095B.

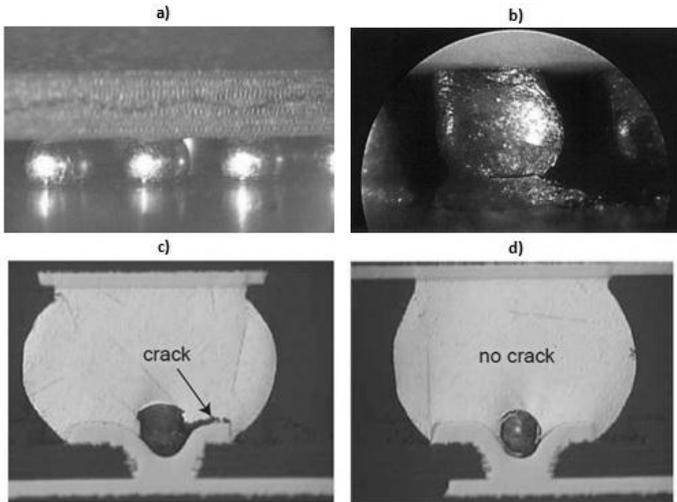


Figura 6: Critérios de aceitabilidade IPC: a) Alinhamento; b) Crack IPC A-610E; c) Crack IPC-7095B; d) No Cracks IPC-7095B;

Como base nos dados (i-ii) verificados na análise cross-section do componente BGA segundo critérios de aceitabilidade mostrados na Figura 6 é possível afirmar que a junta de solda analisada foi encontrada em conformidade com a Norma IPC-A-610 e IPC-7095B, portanto, pode ser dito que possui confiabilidade de solda em suas juntas, logo o processo de soldagem Reflow de componentes BGA atende conceitos internacionais de confiabilidade.

5. CONCLUSÃO

Com base na análise dos resultados mostrados na Figura 5, é possível afirmar que a empresa pode realizar o processo de soldagem Reflow de componentes BGA, inserido no processo de fabricação de notebooks, sem por em risco a qualidade final do produto, pois o estudo de cross-section realizado no BGA demonstrou que o processo de soldagem realizado atende os critérios de aceitabilidades das Normas Internacionais IPC-A-610E e IPC-7095B, portanto, pode-se concluir que há qualidade e confiabilidade no processo de soldagem Reflow de componente de tecnologia BGA.

Ter conhecimento da qualidade e confiabilidade de seus processos é essencial para que a empresa possa trabalhar para obter menores custos e melhores condições de competitividade, logo, este artigo pôde demonstrar a importância da confiabilidade

dos processos de soldagem Reflow de componentes BGA tornando-se referência para trabalhos futuros para organizações do segmento eletroeletrônico que utilizam componentes BGA em seu processo de fabricação.

6. AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) e o Instituto Tecnologia José Rocha Sergio Cardoso (ITJRSC)

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Lee, Yong-Won. et al. **The Effect of Microvia-In-Pads Design on SMT Defects in Ultra-Small Component Assembly.** International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging. IEEE. 2010.
- [2] Liu, Cang. et al. **Research on the fault diagnosis technology of intermittent connection failure belonging to FPGA solder-joints in BGA package.** Optik optics, n.125, p. 737– 740. 2014.
- [3] Priede, Janis. **Implementation of Quality Management System ISO 9001 in the World and its Strategic Necessity.** Procedia. Volume 58, p. 1466–1475. 2012.
- [4] Yang, Chaoran. et al. **Comparative Study of PWB Pad Cratering Subject to Reflow Soldering and Thermal Impact.** Electronic Components and Technology Conference, p. 464-470. IEEE. 2010.
- [5] Childs, Joe. **How Lead-Free Changes Can Impact Reliability.** Annual Technology Report. IEEE, 2008.
- [6] Ganesan, S & Pecht, M. **Lead-Free Electronics.** College Park, MD: CALCE EPSC Press, 2004.
- [7] Wang, Fuliang. et al. **Height Measurement of Micro-Solder Balls on Metal Pad by White Light Projection.** IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology. Vol.2. n 9. 2012.
- [8] Stoyanov, Stoyan. et al. **Thermo-Mechanical Sub-Modelling of BGA Components in PCB Reflow.** IEEE. 36th Int. Spring Seminar on Electronics Technol, p. 253– 258. 2013.
- [9] Lee, Ning-Cheng. **Reflow Soldering Processes and Troubleshooting: SMT, BGA, CSP and Flip Chip Technologies.** Newnes. 2002.

[10] Freedman, Gary M. **Chapter 44: Soldering Fundamentals, in Coombs**, Clyde F. Jr: Coomb's Printed Circuits Handbook. Sixth Edition, McGraw-Hill. 2008.

[11] Jirsa, Jan. et al. **Risk Analysis of Reflow Technologies in Electronics Assembly**. IEEE. 35th Int. Spring Seminar on Electronics Technology, p. 178-182. 2012.

[12] Ayob, Masri & Kendall, Graham. **A survey of surface mount device placement machine optimisation: Machine classification**. European Journal of Operational Research, n.186, p. 893-914. 2008.

[13] Tsai, Tsung-Nan. **Thermal parameters optimization of a reflow soldering profile in printed circuit board assembly: A comparative study**. Applied Soft Computing, n.12, p. 2601-2613. 2012.

[14] IPC-A-610E. **Acceptability of Electronic Assemblies**. 2010.

[15] IPC-7095B. **Design and Assembly Process Implementation for BGAs**. 2008.

[16] Puttlitz, Karl J. & Galyon, George T. **Impact of the ROHS directive on high-performance electronic systems**. J Mater Sci: Mater Electron, n.18, p.331-346. 2006

[17] Schreurs, P.J.G. et al. **Integrated numerical-experimental analysis of interfacial fatigue fracture in SnAgCu solder joints**. International Journal of Solids and Structures, n.44, p. 5680-5694. 2007

[18] Pan, Jianbiao. et al. **Effect of Reflow Profile on SnPb and SnAgCu Solder Joint Shear Force**. APEX. 2006.

[19] Yamamoto, Tsuyoshi & Tsubone, Ken-ichiro. **Assembly Technology Using Lead-free Solder**. FUJITSU Sei. Tech, n. 43, p.50-58. 2007

[20] Lau, Chun-Sean. et al. **Effect of Solder Joint Arrangements on BGA Lead-Free Reliability During Cooling Stage of Reflow Soldering Process**. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Vol. 2, N.12, p. 2098-2107. 2012

[21] Yin, Robert K. **Case Study Research: Design and Methods**. SAGE. Fourth Edition. 2009

[22] Lin, Weicheng. **The Void-free Reflow Soldering of BGA with Vacuum**. IEEE. 2007.



ISOTHERMIC GASIFICATION OCTAVE

Mario Matiauda¹, Juan B. de León Benítez², Luis Ernesto Arteaga², Nora Freaza¹, Marta Rivero¹, Carlos Yachecen¹

¹Universidad Nacional de Misiones, Posadas, Argentina

(1) ²Dpto de ingeniería Química. Facultad de Química Farmacia. Universidad Central

(2) de Las Villas; Carretera a Camajuaní km 5 y ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

*Correspondencia autores: J.B. de León: Tel. 0534221528;juanba@uclv.edu.cu, M. Matiauda: matiauda@fceqyn.unam.edu.ar; N.Freaza: nfreaz@yahoo.com..ar; M.Rivero: rivero@fceqyn.unam.edu.ar

ABSTRACT

Gasification is a process of thermal conversion where the solid biomass (sawdust pellets) turns into gas by partial oxidation at high temperatures. The model used is based on the theory of the two phases (bubble - emulsion) suitable for predicting experimental results in reactions that occur in fluidized beds. The model is simulated from the set of ordinary differential equations for mass balances and energy, as well, hydrodynamic studies of porosity, velocity, fraction of bubbles, with certain assumptions such as isothermal behavior of the process

Keywords: gasification-model-simulation.

Gasificación Isotérmica Con Octave

RESUMEN

La gasificación es un proceso de termoconversión donde la biomasa sólida (pellets de aserrín) se convierte en gas, a través de oxidación parcial a temperaturas altas. El modelo utilizado se basa en la teoría de las dos fases (*burbuja – emulsión*), adecuado para predecir resultados experimentales en reacciones que ocurren en lechos fluidizados. El modelo se simula a partir del conjunto de ecuaciones diferenciales ordinarias para los balances de masa y de energía; como así también, estudios hidrodinámicos de porosidad, velocidad, fracción de burbujas, con determinadas suposiciones como el comportamiento isotérmico del proceso.

Palabras claves: Gasificación-modelo-simulación

1 INTRODUCCIÓN

En general los modelos de gasificación en lecho fluidizado se distinguen en modelos termodinámicos, modelos según régimen de flujo y modelos transitorios.

El modelo simple de fase doble [1] que supone que todo el gas en exceso a la velocidad mínima de fluidización fluye en el lecho como burbujas mientras la fase emulsión permanece estacionaria en las condiciones de fluidización mínima, es de pobre ajuste experimental.

El modelo de Davidson [2], sobre la mecánica de fluidos, avanza al suponer burbujas esféricas libre de sólidos en un lecho cuyos sólidos se desplazan fuera del camino de las

burbujas como un fluido viscoso y el gas fluye a través de la región densa en situación viscosa incompresible.

A partir de éste surgieron modelos en base a consideraciones de las burbujas, la posibilidad de dos o tres regiones y por lo tanto de la cantidad de parámetros, llegando al modelo K-L [3] en tres fases (burbuja, nube, emulsión), con sus parámetros en términos de una variable como el tamaño efectivo de burbujas.

Adicionalmente existen estudios sobre el llamado modelo de flujo neto [4], que se refiere a la generación neta del número de moles de gas en la fase emulsión, debido a la devolatilización y las reacciones homo y heterogéneas,

diferenciando en tomar modelo flujo pistón en la fase burbuja y de mezcla completa en fase emulsión.

La mayoría de ellos atendieron el tratamiento del sólido carbón, recientes trabajos [5] incorporan el estudio sobre la gasificación de biomasa.

El presente trabajo tiene como fin disponer de un programa predictivo de la distribución y concentraciones de las especies productos, durante la gasificación de pellets de biomasa (aserrín de pino) en lecho fluidizado, suponiendo las fases de burbuja y emulsión, considerando las propiedades termodinámicas, de transporte e hidrodinámicas, para su ejecución en ordenador.

2 DESARROLLO

Modelo de gasificación

El modelo utilizado se basa en la teoría de las dos fases (burbuja – emulsión), adecuado para predecir resultados experimentales en reacciones que ocurren en lechos fluidizados (Figura 1), donde el lecho fluidizado consiste de una fase continua (emulsión), de porosidad constante, con las partículas uniformemente distribuidas en la corriente gaseosa y una gaseosa discontinua (diluída) con gases únicamente como burbujas, eventualmente canales y flujo viscoso. Todo el gas llamado en exceso del necesario para mantener la fluidización en la fase emulsión, se supone pasa a través del lecho como burbujas libres de sólidos. El flujo y densidad en la emulsión no dependen de la velocidad superficial del gas, registrándose intercambio másico y de calor entre las fases.

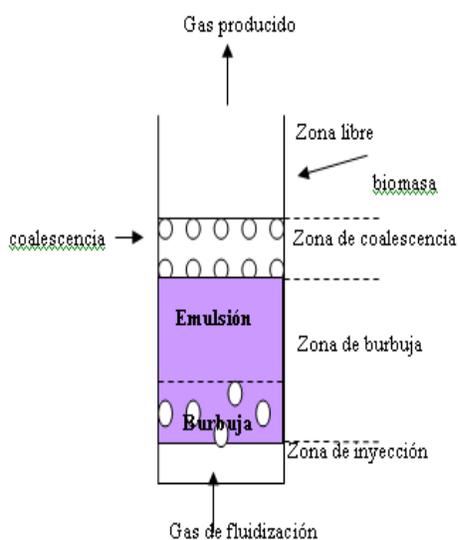


Figura.1. Zonas diferenciadas en el gasificador de LF.

Las suposiciones adoptadas se enumeran como:

- El sólido está perfectamente homogeneizado en la fase emulsión.
- Las fases de burbuja y emulsión se modelan matemáticamente para un reactor de mezcla completa (RMC)
- Los perfiles de concentración y temperatura en el gasificador en las dos fases varían en función del tiempo y no varían a lo largo del equipo.
- La biomasa está escasamente presente en la fase de emulsión, sin intercambio de calor y de masa entre el sólido y la fase de burbuja.
- El tamaño de burbuja varía con la altura del gasificador. Crecen por coalescencia y su tamaño es uniforme en cualquier sección transversal del equipo
- La transferencia de masa entre el gas y el sólido, en la fase de emulsión, es de tipo convectivo.

Se presenta un esquema simplificado del modelo bifásico en la figura 2(4).

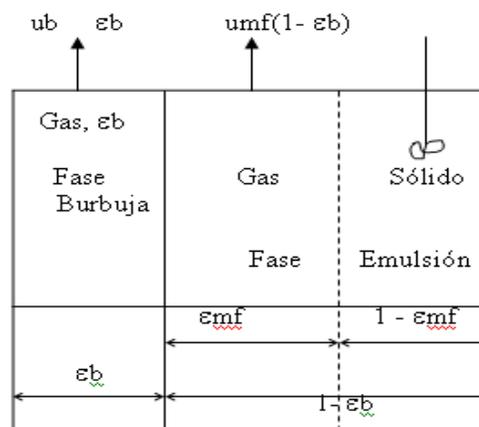


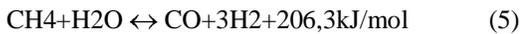
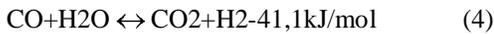
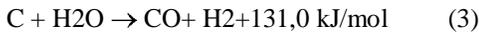
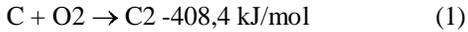
Figura 2. Modelo bifásico simplificado.

Para la simulación del modelo se incluye un conjunto de ecuaciones diferenciales ordinarias para los balances de masa y de energía; como así también, estudios hidrodinámicos de porosidad, velocidad, fracción de burbujas, número de Arquímedes.

Las ecuaciones diferenciales de balance de masa y energía están referidas a los componentes C, CO, CO₂, H₂O, O₂,

H₂ y CH₄, en las dos fases, de burbuja y de emulsión. Las ecuaciones de balance de energía refieren la temperatura en fase de burbuja y emulsión.

Las reacciones de gasificación y calores de formación a 25°C representativas junto a las respectivas ecuaciones cinéticas y constantes de equilibrio para el proceso de gasificación son [6]:



Las tres primeras reacciones son heterogéneas, ocurren en la fase de emulsión; las dos últimas reacciones son homogéneas, ocurren en las fases burbuja y emulsión.

Atendiendo a las características del modelo, el gasificador de biomasa de lecho fluidizado burbujeante queda dividido en tres zonas, una de burbuja, subdividida en burbuja y emulsión, una de coalescencia o "slug" y la zona libre o "freeboard". Para el balance se consideran las dos primeras

$$V \rho_m C_{pm} \frac{dy_{14}}{dt} = \left(\sum_{i=1}^6 F_i^b, entrada C_{p_i}^b, entrada \right) y_{14}^{g,i} - \left(\sum_{i=1}^6 F_i^b, salida C_{p_i}^b, salida \right) y_{14} + f^b h_{be} (y_{15} - y_{14}) \pm f^b \sum_{i=1}^2 (\Delta H_{r_i}^b R_i^b) \cdot V \quad (9)$$

Fase emulsión.

Balance de masa.

a) Para el gas.

Acumulación de masa = diferencia de masa de gas entre la entrada y la salida + transferencia de masa entre las dos fases \pm generación/consumo de masa por reacción. (En fase emulsión). (10)

Entonces, se tiene:

$$\varepsilon \frac{dy_i^e}{dt} = \frac{Q_i^e, entrada}{V} y_{i,0}^e - \frac{Q_i^e, salida}{V} y_i^e + K_i (y_i^b - y_i^e) \pm R_i^e \quad (11)$$

b) Para el sólido

zonas; para cada componente es de rigor hacer un balance de masa en la fase de burbuja y en la de emulsión. Para el componente C (carbono), no existe transferencia de masa entre las fases burbuja y emulsión.

Balances de masa y energía

Balances de masa y energía en las fases I

Balance de masa.

Acumulación de masa = diferencia de flujos másicos de cada componente entre la entrada y la salida + transferencia de masa entre las fases burbuja y emulsión \mp generación/consumo de masa. (En fase burbuja) (6).

Se tiene, entonces:

$$\frac{dy_i^b}{dt} = \frac{Q_i^b, entrada}{V} y_{i,0}^b - \frac{Q_i^b, salida}{V} y_i^b + K_i (y_i^e - y_i^b) \pm R_i^b \quad (7)$$

Resulta, entonces:

Acumulación de masa del sólido = diferencia de masa del sólido entre la entrada y la salida \pm consumo de masa del sólido por reacción. (En fase emulsión). (12)

Se tiene, entonces:

$$\beta \frac{dy_{13}}{dt} = \frac{Q_{biomasa}^e, entrada}{V} y_{13,0}^e - \frac{Q_{biomasa}^e, salida}{V} y_{13}^e \pm R_{biomasa}^e \quad (13)$$

Balance de energía.

Acumulación de energía = diferencia entre la entrada y la salida de energía + calor intercambiado entre las dos fases + calor intercambiado entre gas y sólido \mp calor generado por reacción. (En fase emulsión). (14).

Resulta, entonces:

$$ub = u_0 - umf + 0,711\sqrt{g \cdot d_b} \quad (18)$$

Fracción de burbujas y fracción de emulsión, se calcula a partir de

$$V\rho_m C_{pm} \frac{dy_{15}}{dt} = \left(\sum_{i=1}^7 F_i^e, entrada C_{p_i}^e, entrada \right) T_{gas} - \left(\sum_{i=1}^7 F_i^e, salida C_{p_i}^e, salida \right) y_{15} + f^e h_{be} (y_{14} - y_{15}) \quad (15)$$

Las ecuaciones diferenciales ordinarias (problema de condición de frontera y valor inicial) representativas asumen: a) concentraciones de los componentes valorados al tiempo inicial son iguales para fase burbuja y emulsión b) la concentración de los componentes (fase burbuja-emulsión) inicial es igual a la concentración del componente menos el flujo difusivo c) la variación de los componentes (fase burbuja-emulsión) respecto a la altura lecho es nula.

Suponiendo comportamiento isotérmico, dado el corto tiempo transitorio para alcanzar la temperatura de régimen, se desprecian las ecuaciones del balance de energía para la simulación del proceso

¹Los subíndices de y_i significan: 1-3-5-7-9-11 corresponden a oxígeno, dióxido, monóxido, agua, hidrógeno y metano en fase burbuja, respectivamente, símil 2-6-8-10-12 en fase emulsión, 14-15 temperatura fases burbuja-emulsión, respectivamente

Aspectos hidrodinámicos del modelo.

Para el gasificador de lecho burbujeante se adoptan los parámetros hidrodinámicos, descriptos por las ecuaciones:

1. Velocidad mínima de fluidización. (8)

$$umf = \left(\frac{\mu_g}{\rho_g d_p} \right) \left[\sqrt{(1135,7 + 0,0408Ar)} - 33,7 \right] \quad (16)$$

donde el número de Arquímedes, Ar , está dado por la expresión:

$$Ar = \frac{dp^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu_g^2} \quad (17)$$

2. Velocidad de burbuja [2]

$$f_b = \frac{u_0 - umf}{u_b}; f_e = 1 - f_b \quad (19)$$

3 Velocidad de emulsión. (3)

$$u_e = \frac{umf}{(1 - f_b)} \quad (20)$$

4. Porosidad a la velocidad de fluidización mínima (9)

$$\varepsilon mf = 0,4025 + 603,7 \cdot d_p \quad (21)$$

5 Porosidad en la fase de burbuja. (3)

$$\varepsilon_b = 0,784 - 0,139 \cdot \exp \left[\frac{(-u_0 - umf)}{0,272} \right] \quad (22)$$

6. Porosidad del lecho. (3)

$$\varepsilon = \delta_e \varepsilon_e + \delta_b \varepsilon_b \quad (23)$$

7. Coeficiente de transferencia de masa de cada componente entre las dos fases [3]. (3)

i) Entre burbuja y nube.

$$K_{i, bn} = 4,5 \frac{umf}{d_p} + 5,85 \frac{(D_i^{1/2} \cdot g^{1/4})}{d_b^{1,25}}$$

ii) Entre nube y emulsión.

$$K_{i, ne} = 6,78 \left(\frac{\varepsilon mf \cdot D_i \cdot ub}{d_b^3} \right)^{1/2} \quad (24)$$

iii) Entre las fases burbuja y emulsión.

$$\frac{1}{K_i} = \frac{1}{(K_{i,bn})_b} + \frac{1}{(K_{i,ne})_e}$$

8. Coeficiente de transferencia de calor entre las fases burbuja y emulsión 3

i) Entre burbuja y nube.

$$(h_{bn})_b = 4,5 \frac{umf C_m C_{pm}}{d_b} + 5,85 \frac{\left((C_m C_{pm} K_m)^{1/2} \cdot g^{1/4} \right)}{d_b^{1,25}}$$

ii) Entre nube y emulsión.

$$(h_{ne})_e = 6,78 \left(\frac{\epsilon m f \cdot \kappa_m C_m C_{pm} u_b}{d_b^3} \right)^{1/2}$$

iii) Entre las fases burbuja y emulsión.

$$\frac{1}{h_{be}} = \frac{1}{(h_{bn})_b} + \frac{1}{(h_{ne})_e} \quad (25)$$

Programa de simulación

El programa, bajo Octave versión 3.2.4 (para Windows) y empleo, de la interfaz gráfica de usuario GUI Octave 1.1.1. requiere el ingreso de propiedades y parámetros del modelo isotérmico, reconocidos como:

R(constante cinética de los gases) [J/molK], Mp (peso molecular carbono), Pp(densidad del char)(gr/m3), Emf (porosidad a fluidización mínima), dp (diámetro partícula lecho)(m), Q (caudal aire)(m3/s),V (volumen gasificador) (m3), Hbe (coeficiente de calor entre fase burbuja y fase emulsión)(kJ/m3s°K), Kbe (coeficiente de masa entre fase burbuja y fase emulsión) (s-1),T temperatura de régimen(°K),tiempo de simulación(s), concentraciones iniciales de las especies(carbono, oxígeno, hidrógeno, agua)(mol/m3).

La ejecución del programa dará las concentraciones de los especies productos de la gasificación (carbono, oxígeno, hidrógeno, agua, monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano) (mol/m3)

La resolución del modelo, sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias se realiza con el resolvidor ode45(Runge Kutta explícito de orden 4).

Resultados

Para la simulación computacional del modelo matemático, se presentan los resultados para una selección particular de los parámetros (valores característicos del proceso de gasificación para la materia prima aserrín de pino):

Flujo de aserrín: 015 kg/h (pellets y a granel), de fórmula empírica C4.2 H6.1 O2.7

Humedad del aserrín: inferior a 6%; caudal de aire:2 m3/h (a Patm); T temperatura de operación reactor: 800°C; porosidad:0.55; dp=0.0005m;Kbe=22s-1;V=0.00113m3; tiempo simulación:10s

Se presentan las gráficas de concentración de hidrógeno, en función del tiempo, como el conjunto de las especies gaseosas (figuras1 y 2)

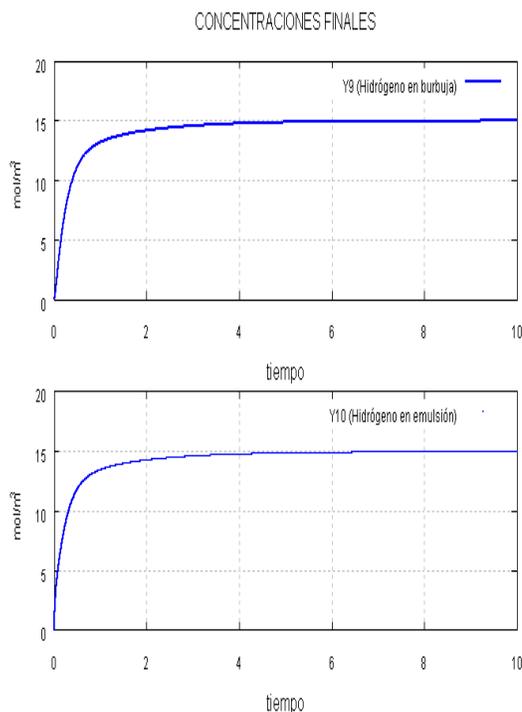


Figura 3- Concentración de hidrógeno

5. CONCLUSIONES

El modelo, en referencia a la concentraciones finales de las especies gaseosas, muestra significativa influencia de la concentración inicial de carbono (flujo másico de biomasa y composición de la biomasa) y de agua (contenido de humedad de la biomasa, posibilidad de inyección secundaria de vapor o mezclas aire-vapor como comburentes), principalmente

Q_i^b = caudal fase burbuja (m^3/s)

Q_i^e = caudal fase emulsión (m^3/s)

$Q_{biomasa}$ = caudal (m^3/s)

u_b = velocidad en fase burbuja (m/s)

u_e = velocidad en fase emulsión (m/s)

umf = velocidad de fluidización mínima (m/s)

u_0 = velocidad inicial (m/s)

t_v = tiempo de devolatilización (s)

t_c = tiempo de combustión del char (s)

V = volumen gasif. (m^3)

R_i^b = generación/consumo de componente i en fase burbuja (mol/m^3s)

R_i^e = generación/consumo de componente i en fase emulsión (mol/m^3s)

y_i^b = concentración de componente i en fase burbuja ($i=1,3,5,7,9,11,13$) (mol/m^3)

y_i^0 = concentración inicial de componente i (mol/m^3).

y_i^e = concentración de componente i en fase emulsión ($i=2,4,6,8,10,14$) (mol/m^3).

y_{14}^e, y_{15}^b = temperaturas de emulsión y burbuja, respectivamente ($^{\circ}K$)

δ = fracción de volumen en cada fase (adim)

ε = porosidad del lecho (adim), ε_b = porosidad fase burbuja (adim), ε_e = porosidad fase emulsión (adim)

κ = conductividad térmica mezcla ($kJ/ms^{\circ}K$)

ρ_g = densidad del gas (kg/m^3)

ρ_m = densidad de la mezcla gaseosa (kg/m^3)

ρ_s = densidad del sólido (kg/m^3)

μ_g = viscosidad del gas (kg/ms)

ϕ = diámetro del pellet (mm)

$\Delta H_{r_i}^e$ = entalpía de reacción en fase emulsión ($J/kmol$)

$\Delta H_{r_i}^b$ = entalpía de reacción en fase burbuja ($J/kmol$)

R = Constante cinética de los gases [$J/molK$]

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Toomey, R.D; Johnstone, H.F.; **Gas fluidization of solid particles**, Chem.Eng.Prog, 48, 220, 1953.

[2] J.F. Davidson, D. Harrison, **Fluidized Particles**, Cambridge Univ.Press, New York, 1963.

[3] Kunii, D, Levenspiel, **O.-Fluidization engineering**-2nd edition, Butterworth-Heinemann.

[4] Yan,H.M, Heidenreich,C., Zhang,D.; **Mathematical modeling of a bubbling fluidized-bed coal gasifier and the significance of net flow-Fuel**. Vol. 77, No. 9/10, pp. 1067-1079, 1998

[4] Yang,Y.B., Ryu,C.,Khor, A.,Yates,N.E., Sharifl, B:N:, Swithenbank, J.;**Effect of fuel properties on biomass combustion. Part II**. Modeling approach-identification of the controlling factors-Fuel 84, 2116-2130,2005

[5] Petersen, I., Werther, J., **Experimental investigation and modelling of gasification of sewage sludge in the circulating fluidized bed**. Chemical Engineering and Processing, 44, 717-736, 2005

[6] Sadaka, S.S., Ghaly, A.E., Sabbah, M.A.; **Two phases biomass-air-steam gasification model for fluidized bed reactors: part I-model development**; Biomass & Bioenergy, 22, 439-462, 2002.

[7] Botterill,J.S.M.,Bessant,D.J.,**The flow properties of fluidized solids**; Powder Technology,14,(131),1976

[8] Abrahamsen, A.R, Geldart, D., **Behavior of Gas-Fluidized Beds of Fine Powders. Part I**, Homogeneous fluidization;Powder Technology,29,3546,pp



Efficient Energy Management System or the technologies of carbon storage and sequestration as viable alternative to reduce CO₂ emissions in the short term

Tirso Lorenzo Reyes Carvajal^a, Candido Quintana Pérez^b, Ana Emilia Diniz Guedes^c

^aDr., Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM). Brasil. (tirsolrca@gmail.com)

^bDr., Instituto Tecnológico de Santo Domingo. República Dominicana (INTEC). (candido.quintana@intec.edu.do)

^cM.Sc., Universidade do Estado do Amazonas. Brasil (EST/UEA). (aedsguedes@gmail.com)

ABSTRACT

In the present work the results of applying a methodology that complements the focus of many other existing methods of energy management supported the use of statistical and mathematical tools that diagnosis by the energy, thermal and electrical calculations allow appraise the situation in a productive entity or services, moreover, shows a critical analysis comparing to apply a hit management system and storage technology carbon as a means to reduce the negative impact the use of hydrocarbons.

Keywords: energy management, carbon storage.

Sistema de Gestão eficiente da energia, ou as tecnologias de sequestro e armazenamento de carbono como uma alternativa viável para reduzir as emissões de CO₂ no curto prazo

RESUMO

No trabalho apresentam os resultados de aplicação de uma metodologia que complementa o enfoque de muitos outros métodos existentes de gestão energética apoiado no uso de ferramentas estatístico-matemática que junto ao diagnóstico energético, cálculos térmicos e elétricos permitem valorar a situação de uma entidade produtiva ou dos serviços, além disso, se mostra uma análise crítica de comparação entre a aplicação de um acertado sistema de gestão e a tecnologia de armazenamento de carbono como via para diminuir os impactos negativos do uso dos hidrocarbonetos.

Palavras chave: Gestão energética, armazenamento de carbono.

1 INTRODUÇÃO

Um programa de Eficiência Energética traz muitos benefícios não somente onde aplicado, mas também em um contexto mais amplo, como diminuição da necessidade de expansão do setor energético, redução de custos em energia em instituições e principalmente contribui com a minimização de impactos ambientais causados pelos gases de efeito estufa lançados à atmosfera.

Um sistema de gestão energética (SGE) visa ter conhecimento de todo o fluxo de energia em uma instituição; verificar influências, possíveis pontos a serem melhorados e acima de tudo ter controle sobre o sistema aplicando ações corretivas.

Em muitos casos, um sistema de gestão de energia é mais eficaz do que programa de eficiência energética devido a sua atuação ser mais ampla e duradoura. Ela demanda um custo inicial relativamente baixo em vista dos retornos vindos de forma de eficiência energética nos diferentes processos [1].

A organização deverá rever e avaliar periodicamente o seu sistema de gestão da energia para identificar oportunidades de melhoria e promover a sua implementação. O ritmo de progressão, a extensão e a duração do processo de melhoria continua são determinados pela própria organização através de: Melhorar a eficiência energética dos seus processos de forma sistemática, estabelecer, programar, manter e melhorar um sistema de gestão energética, assegurar a conformidade com a sua política energética, demonstrar esta conformidade a outros, mediante a certificação do seu sistema de gestão energética por

uma organização externa, melhorias comerciais: aumento da competitividade, novos mercados (prioridade nas negociações). Redução de custos: otimização do uso de recursos, diminuição da

intensidade energética (consumo energético/PIB). Prevenção de custos: Ferramenta idônea, implantação de atividades resultantes de auditorias energéticas [2].

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Há muitas razões para promover o uso eficiente da energia. Os principais fatores de políticas de eficiência energética são a segurança de fornecimento de energia em longo prazo, a eficiência e a competitividade das economias nacionais, e as preocupações ambientais, incluindo o aquecimento global. Particularmente nos países em desenvolvimento, aumento da eficiência energética também contribui para resolver as restrições ao investimento no sector do abastecimento de energia. E de um modo geral, o uso mais eficiente da energia contribui para a igualdade, melhores condições de vida, menores custos de energia e um melhor acesso aos serviços energéticos. O enorme potencial para o aumento da eficiência energética em todas as fases da produção e uso de energia é amplamente reconhecido, mas percebendo esse potencial ainda é um desafio [3].

A necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e, assim, mitigar os impactos do aquecimento global é uma necessidade urgente e confirmada desde a apresentação dos relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês) da ONU, ao longo dos últimos meses. Segundo a organização não-governamental WWF, o mundo tem apenas cinco anos para que os governos dos países reformulem as suas políticas direcionadas ao fenômeno – já inevitável – das mudanças climáticas.

Nesse contexto, a WWF (World Wide Fund for Nature) aposta na viabilidade das tecnologias e das fontes de energia sustentáveis disponíveis para reverter o quadro até 2050. Em seu estudo, a ONG apresenta uma combinação de soluções para atingir o crescimento energético e que consiga atender a demanda.

O curto prazo de cinco anos seria o tempo necessário para o desenvolvimento e a implementação total do uso prático dessas tecnologias. O efeito delas, por outro lado, só será sentido ao longo das próximas décadas. “Se esperarmos mais do que isso, talvez seja tarde demais para iniciarmos este processo de transição sustentável capaz de impedir um aquecimento global maior que 2°C”, afirma Denise Hamú, secretária-geral do WWF-Brasil. O relatório indica que atrasos tornam a transição mais cara e difícil, além de aumentarem os riscos de fracasso. “Também é fundamental que eles [governos] planejem as dimensões sociais e econômicas desta transição para minimizar os impactos negativos de uma mudança urgente como essa”, consideram os pesquisadores do relatório. O documento aponta, por exemplo, que a bioenergia só poderá atingir toda a sua capacidade se produzida de maneira sustentável [4, 10].

Segundo a WWF, o investimento em eficiência energética deve ser a ação mais imediata, enquanto energias alternativas são desenvolvidas. Entre 2020 e 2050, as demandas

crescentes dos serviços energéticos podem ser contempladas apenas com esse esforço.

Para isso, os países desenvolvidos devem repotencializar os seus estoques deficientes ou arcaicos, enquanto os em desenvolvimento devem investir, desde o início, em sistemas melhores. Até 2050, o mundo pode alcançar uma economia de 39% da demanda projetada de energia. Para isso, a eficiência energética deve atingir os setores industriais e de construção. A redução do uso de veículos e as melhorias de motores são estratégias a serem levadas em conta.

Um outro vilão causador das emissões de GEEs são os desmatamentos. Nesse cenário, os países tropicais são agentes que devem se responsabilizar por controlar as taxas de queimadas e de degradação ambiental de florestas. Segundo o IPCC, a preservação florestal pode reduzir as emissões em até 50%.

A redução de combustíveis fósseis é uma meta óbvia. A WWF propõe o uso do gás natural como substituto do carvão, enquanto outras matrizes menos poluentes ainda estiverem em desenvolvimento. O gás natural emite relativamente menos carbono na atmosfera. O relatório calcula que essa opção atingiria um pico de suprimento em 2023.

Nessa fase de transição, em que ainda há uso considerável de combustíveis fósseis, o sistema de captura e armazenamento de carbono, principalmente das indústrias, colaboraria para estabilizar os níveis de emissões em médio prazo (até 2020).

A captura e armazenamento de Dióxido de Carbono (CO₂) tem o potencial de reduzir significativamente a quantidade de CO₂ liberada na atmosfera. As tecnologias necessárias para separar o CO₂ de outros gases e para sequestrar CO₂ são conhecidas. Outros desenvolvimentos são necessários para programar a captura e o armazenamento de CO₂ em grande escala.

Ao queimarmos combustíveis fósseis-carvão, petróleo e gás natural, estamos aumentando a concentração de CO₂ na atmosfera. A concentração de CO₂ atualmente é de 379 partes por milhão. É um número significativamente maior do que em qualquer outro momento dos últimos 600.000 anos. O consenso entre climatologistas é que a maior concentração de CO₂ é a principal causa do aumento na temperatura global.

Uma forma de se reduzir a quantidade de CO₂ sendo liberado na atmosfera é a maior utilização de fontes alternativas de energia que não produzem CO₂. Estas incluem energia hidrelétrica, eólica, solar, nuclear, geotérmica e maremotriz. Cada uma delas tem suas limitações, e será difícil fazer uma troca rápida de combustíveis fósseis para essas outras fontes. Mas se o CO₂ produzido pela queima de combustíveis fósseis não chegar à atmosfera? Em vez de permitir que o CO₂ suba pela chaminé e chegue até o ar, podemos capturá-lo e colocá-lo em algum lugar? Isso é possível?

Sim, é possível. O processo é chamado de captura e armazenamento de CO₂. Ele tem sido realizado em pequena escala atualmente. Isso tem o potencial de fazer uma diferença considerável na quantidade de CO₂ que liberamos na atmosfera. Como o nome sugere, há duas fases no processo. O primeiro desafio é capturar o CO₂ em vez de deixá-lo subir pela chaminé.

Então ele precisa ser armazenado ou “seqüestrado” de forma segura por um longo tempo. A idéia de seqüestrar o CO₂ para reduzir a quantidade que entra na atmosfera é relativamente nova.

¿ Porque o incremento da eficiência energética sobre a base da aplicação de um sistema de gestão energética é a melhor via para a diminuição das emissões de CO₂ no setor industrial e dos serviços a curto prazo?

1. Há muita especulação sobre o potencial e tecnologias de sequestro e armazenamento de carbono (SAC) como uma solução para a mitigação de mudanças climáticas.

2. O SAC não será seriamente implementado antes de 2020 e provavelmente não se tornará comercialmente viável como uma opção de mitigação eficiente até 2030. *O que é SAC?*

Há três diferentes métodos de sequestro ou captura de CO₂: 'pré-combustão', 'pós-combustão', e 'combustão oxi-combustível'

Pré-combustão:

*Na captura por 'pré-combustão', o CO₂ é removido antes da combustão e então armazenado. No caso do carvão, isto pode ser feito através da gasificação (processo de conversão de carvão de estado sólido a gás, produzindo monóxido de carbono, hidrogênio, metano e nitrogênio)

Pós-combustão:

* As técnicas de pós-combustão são bem conhecidas no setor energético como prática padrão, por exemplo, para a remoção de enxofre de gás de combustão produzido em usinas de carvão, que normalmente contém até 14% de CO₂. O CO₂ deve ser separado, por exemplo, por absorção (química ou física), criogenia, e tecnologias de membrana e então ser concentrado, secado e pressurizado para transporte.

Combustão oxi-combustível:

* Em processos de 'combustão oxi-combustível', o nitrogênio é removido do ar por uma unidade de separação de ar. Oxigênio é adicionado ao combustível, que o acende, emitindo um gás que consiste basicamente de CO₂ e vapor de água, que pode ser condensado, resultando em uma corrente seca de CO₂ altamente concentrado, comprimido para o transporte e armazenamento.

Limitações e Preocupações

O SAC levanta uma série de preocupações financeiras, ambientais e 'de princípios':

* SAC é caro. Aumenta os custos da geração de energia entre 40% e 80% em comparação com usinas convencionais, dependendo da localização da usina, do local de armazenamento, e da tecnologia de transporte e sequestro utilizada.

* A tecnologia de SAC reduz a *eficiência de usinas*. Uma quantidade adicional entre 10 e 40% de combustível fóssil deve ser queimada quando SAC é usado para conseguir o mesmo resultado energético.

* O SAC produz custos adicionais em longo prazo. A monitoração e a verificação ao longo dos anos são necessárias para garantir a retenção do dióxido de carbono armazenado. Ainda assim, oportunidades de intervenção a fim de impedir ou controlar vazamentos inesperados são provavelmente limitadas.

Usinas existentes e as que serão construídas nos próximos cinco a dez anos, não serão repotenciadas com tecnologia SAC depois desse período. A eficiência de uma usina antiga de 33% de eficiência seria reduzida à faixa de 20 a 25%, deixando de ser economicamente viável.

A tecnologia de SAC se tornaria economicamente viável apenas com um forte mercado global de carbono, com preços bem acima da faixa de US\$ 25 a 30 por tonelada equivalente de carbono.

Tecnologias de energia renovável e eficiência energética estão prontas para serem empregadas agora, tanto em termos tecnológicos quanto de mercado. Políticas climáticas sérias demandariam o emprego destas opções, o mais imediato e abrangente possível.

Tecnologias de captura e armazenamento de carbono podem desempenhar uma função, mas mesmo o relatório do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) sugere que estas serão mais importantes na segunda metade deste século. O clima não pode esperar.

O valor climático de médio a longo prazo do SAC é baixo. Um estudo do instituto Australiano descobriu que o uso isolado de SAC reduziria as emissões australianas em aproximadamente 9% em 2030, e emissões acumuladas de 2005 a 2030 em apenas 2.4%.

Um cenário com um aumento moderado de eficiência energética poderia reduzir emissões em 2030 em quantidade parecida, e emissões acumuladas em dobro. Isto seria conseguido a um custo zero ou mesmo negativo.

Riscos Ambientais do SAC

Há uma série de riscos e perguntas associadas ao SAC ainda sendo investigadas:

* Quanto tempo o CO₂ deve/pode permanecer seguro debaixo da terra? Milhares, dezenas de milhares de anos? O que acontecerá se o CO₂ escapar de volta para o ambiente? Este risco deve ser mantido o mais baixo possível. O risco de vazamentos pode ser mantido baixo se escolhido o melhor local geológico para sítios de armazenamento, se houver tempo disponível para tanto. Só é possível conseguir sítios de armazenamento de alta qualidade e padrões de segurança se não houver urgência em armazenar as grandes quantidades anuais de carbono no futuro.

* Sítios de armazenamento devem ser monitorados, mas isto será mais difícil se estes forem submarinos, especialmente nos casos de acidentes; todo o trabalho de resgate dependeria das condições meteorológicas. Entretanto, um escoamento lento distante do local da injeção seria muito mais difícil ou quase impossível de se detectar. Os impactos biológicos causados pela liberação do CO₂ no ambiente marinho podem ser devastadores. Um vazamento mataria organismos incapazes de fugir, dissolveria escudos de carbonato de moluscos, corais ou plânctons específicos, que são a base da cadeia alimentar marinha, com potenciais consequências catastróficas [15].

A aplicação de um sistema de gestão energética que denominamos; Sistema de gestão eficiente da energia que fora desenhado por investigadores das universidades cubanas do Cienfuegos e Las Villas e permitiu conhecer os potenciais de economia de portadores energéticos e as possibilidades de diminuição das emissões de CO₂ A atmosfera. No presente trabalho se mostram os resultados de sua aplicação em 63 organizações

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A aplicação de um Sistema de Gestão Energética nos permite determinar onde se produzem as perdas durante a operação das instalações industriais, sua quantificação e as causas que a originaram as vias que conduzem a sua redução ou a eliminação total. As formas de organizar os sistemas de gestão energética na empresa ou centros de serviço são variáveis dependendo da atividade empresarial, os interesses e as capacidades das equipes que encarregadas empreender a tarefa na empresa.

Todos coincidem em que o aumento da eficiência energética é a chave do êxito na empresa ou centro de serviço.

A metodologia a seguir no presente trabalho será a seguinte:

4 METODOLOGIA DO SGEE [5, 7, 8,9]:

1. Definição dos portadores energéticos.
2. Estabelecimento da estrutura de consumo da empresa, indústria e /o centro de serviço.
3. Estratificação dos resultados.
4. Determinação das áreas ou equipes maiores consumidores.
5. Identificação dos operários e gerentes que decidem na eficiência energética.

6. Estabelecimento e cálculo de indicadores energéticos. Índices de consumo.
7. Realização de um diagnóstico de 1er nível.
8. Calculo dos potenciais de economia de energia.
9. Estabelecimento de parâmetros de operação eficiente.
10. Realização de controle a gerentes, técnicos e operários.
11. Proposta de projetos de melhora

O sistema se apoia no uso de ferramentas estatística matemática que junto ao diagnóstico, cálculos térmicos e elétricos permitem valorar a situação energética da instituição, destacando-se como muito importante os gráficos de correlação Consumo de energia-Produção que dão a conhecer a quantidade de energia não associada à missão da empresa (perdas), todas isso para as áreas e/ou equipes que representam entre o 75-85% dos consumos.

5 RESULTADOS E DISCUSÕES.

A implementação de um sistema de gestão de energia requer um sistema de informação, além da medição do consumo em cada uma das áreas produtivas, processos e máquinas. O registro histórico do consumo de energia é uma questão fundamental em qualquer empresa, também e um ponto chave para estabelecer valores normativos de consumo de energia de acordo com as características do processo e também permitir comparações com outras empresas que realizam de forma semelhante a produção. A análise das informações fornece o potencial de redução do consumo e, portanto, redução de emissões de gases de efeito estufa. A seguir se apresenta as informações e a comparação de diferentes cenários de acordo com as toneladas de CO₂ deixado de emitir no que respeita à implementação do sistema de gestão de energia.

Tabela 1. Consumo de portadores de energia avaliado em tep

Portador	UM	C. Físico	*FC	Cons. tep
Eletricidade	MWh/año	114 511	0,375	42 941,5
Diesel	t/año	37 147,3	1,0534	39 130,9
Fuel Oil	t/año	7 672,42	0,993	7 618,7
Gasolina	t/año	3 411,92	1,354	4 619,7
Lubrificantes	t/año	991,8	1	991,8
Lenha	t/año	1 044	0,3592	375
GLP	t/Año	215,85	1,1631	251,1
Grasas lubrif.	t/año	39,85	1	39,9
Nafta	t/año	10,71	1,0971	11,7
Álcool	t/año	9,86	0,6311	6,2
Total	-	-	-	95986,6

*FC-Fator de conversão.

Tabela 2. Das economias possíveis

Portador	Das economias possíveis/Ano	Tep/ano	Valor US\$/ano (93,58US\$/Barril)
ELECTRICIDADE MWh/año	30 963,96	11 611,49	7 606 222,64
DIESEL t/año	3 95,67	4 209,04	2 757 173,74
FUEL OIL t/año	579,41	573,6	375 742,41
GASOLINA t/año	12,5	16,9	11 070,51
LUBRIFICANTES t/año	13,51	13,51	8 849,86

Total	-	16 424,54	10 759 059,17
-------	---	-----------	---------------

Referência: *Precio de petróleo WTI, martes 26-08-2014: El petróleo WTI ha operado a 93,58 dólares el barril. Tomando como referência 7 barriles/ton.*

Portador Eletricidade

Para o portador eletricidade foi tomada como base de cálculo cru nacional com 80% de carbono em sua composição elementar.

Tendo em conta que a $M_{\text{carbono}}=12\text{kg/kmol}$ e a $M_{\text{oxígeno}}=16\text{kg/kmol}$, então a $M_{\text{CO}_2} = 44\text{kg/kmol}$. Dividindo 44 por 12 resulta que por cada unidade de massa de carbono se formam 3,66 de CO_2 , tem-se então que por cada tonelada queimada de cru nacional são emitidas 2,93 toneladas de CO_2 (Resultado do produto de $3,66*0,80$)

Como médio em uso final da energia elétrica se consomem 340-360 gramas de combustível por kWh influenciado pelas perdas por transmissão e distribuição em linha, equivalente a um médio de 12%.

De acordo Aos consumos do portador eletricidade pelas empresas analisadas se obtém uma contribuição de 125 818,6 ($42941,5*2,93$) toneladas de CO_2 à atmosfera e para o potencial de economia obtida se obtém um valor de 34021,69 ($11611,5*2,93$) toneladas potenciais de economia em términos de emissão de CO_2 .

Para outros portadores energéticos se fizeram as seguintes considerações:

Portador Energético	% Da composição elementar C	Ton de CO_2 emitidas por tonelada queimada
Diesel	87	3,18 ($3,66*0,87$)
Fuel Oil	80	2,93 ($3,66*0,80$)
Gasolina	85	3,11 ($3,66*0,85$)
GLP	84	3,07 ($3,66*0,84$)

Tabela 3. % de carbono em sua composição elementar.

Tabela 4. Consumo das empresas analisadas

Portador	Consumo por portador no Ton/año	Emissões de CO_2 no Ton/ano.
Diesel	37 147,25	118 284,3
Fuel oil	7 672,42	22 480,19
Gasolina	3 411,92	10 611,07
Electricidad	42 941,5(tcc)	125 818,6
GLP	215,85	663,61
Total		277 861,2

O mecanismo de desenvolvimento limpo do PK financia projetos de redução de emissões do GEE (Gases do efeito estufa) mediante a implementação de sistemas de economia de energia, entre outros.

Adotar até 2015 um preço internacional de pelo menos US\$ 32 (EUR 24) por tonelada de carbono (tCO_2) seria necessário para conter de forma eficaz o aquecimento global. A pesquisa, que tem entre os autores o economista britânico Nicholas Stern, uma autoridade em custos das mudanças climáticas, revisou um modelo amplamente usado para avaliar o risco e descobriu que ele levou a uma enorme subavaliação do risco.

Isto aumenta a necessidade de fortes cortes nas emissões de gases-estufa, impulsionada por um preço de carbono "entre US\$ 32 e US\$ 103 por tonelada de CO_2 (tCO_2) em 2015", destacou o estudo, realizado pelo "The Economic Journal".

"No prazo de duas décadas, o preço do carbono deveria aumentar em termos reais para US\$ 82 a US\$ 260/ tCO_2 ", acrescentou. [17, 18].

Tabela 5. Economias potenciais de portadores energéticos no Ton/ano.

Portador	Economias potenciais de portadores energéticos no Ton/año.	Potencial de seqüestro de CO_2 /año
Diesel	3995,67	12 723,01 ($3995,67 *3,18$)
Fuel oil	579,4	1 697,67 ($579,4 *2,93$)
Gasolina	12,5	38,88 ($12,5 *3,11$)
Eletricidade	11611,49(tcc)	34021,69 ($11611,49*2,93$)
GLP	-----	-----
Total		48 365,11

Tabela 6. Cenários analisados

Primeiro Cenário		
Portadores	Potencial de seqüestro de CO₂/ano	1° Cenário para US\$ 32 por Ton. deixada de emitir
Diesel, fuel oil, gasolina, eletricidade	Total	Total
	48481,25	US\$ 151 400.00
Segundo Cenário		
Portadores	Potencial de sequestro de CO₂/ano	2° Cenário para US\$ 52 por Ton. deixada de emitir
Diesel, fuel oil, gasolina, eletricidade	Total	Total
	48481,25	US\$ 2 521 025.00
Terceiro Cenário		
Portadores	Potencial de seqüestro de CO₂/ano	3° Cenário para US\$ 72 USD por Ton. deixada de emitir
Diesel, fuel oil, gasolina, eletricidade	Total	Total
	48481,25	US\$ 3 490 650.00
Quarto Cenário		
Portadores	Potencial de seqüestro de CO₂/ano	4° Cenário para US\$ 92 USD por Ton. deixada de emitir
Diesel, fuel oil, gasolina, eletricidade	Total	Total
	48481,25	US\$ 4 460 275.00

6 CONCLUSÕES

A implementação de medidas de economia permitiriam deixar de emitir À atmosfera 48365,11 toneladas de CO₂ o qual resulta ser uma importante contribuição á redução do efeito estufa, com a conseguinte mitigação da mudança climática de origem antropogênico no caso estudado

As toneladas de CO₂ se fossem negociadas no MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) do PK representariam um benefício econômico de entre um US\$ 151 400.00e US\$ 4 460 275.00 de acordo ao cenário tirado de referência, fundo o qual poderia ser investido em projetos de Incremento da eficiência energética ou educação ambiental.

Determinação do potencial de economia energética nas empresas para entrar no MDL do Protocolo de Quioto a

partir da aplicação de um SGEE não tem precedentes na literatura, com uma contribuição deste trabalho.

O SAC pode ser uma opção no futuro quando todas as perguntas tiverem sido respondidas e os problemas resolvidos, entretanto, agora alcançar maiores níveis de eficiência energética é a solução, mas viável.

A importância de alcançar níveis mais elevados de eficiência energética não se limita aos problemas de poluição ambiental, mas também tem grande importância nos custos associados com a produção ou serviços.

“Somente se nós entendemos o significado do uso eficiente de energia, podemos desfrutar de um futuro mais prazenteiro”.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Fernando Frozza.J, Jean-Marc Stephane Lafay, Vitor Baldin, Filipe Marangoni. **Metodologia de Implantação de um sistema de Gestão de Energia Utilizando ABNT NBR ISO 50001**. Congresso nacional de excelência em gestão. ISSN 1984-9354. 08 e 09 de junho de 2012.
- [2] Norma **ISO 50001:2011**. “Energy management systems.
- [3] Augusto Horta L. **Indicadores de políticas públicas em materia de eficiencia energética en America latina y el Caribe**. Naciones Unidas, Mayo 2010.
- [4] **IPCC climate Change 2013**: The Physical Science Basis. 2013.
- [5] Barney L. Capehart, Wayne C. Turner, William J. Kennedy. **Guide to Energy Management: International Version**. Fifth Edition. Published by The Fairmont Press, Inc. 2008.
- [6] G. J. Levermore. 2000. **Building Energy Management Systems: Applications to Low-Energy HVAC and Natural Ventilation Controle**. Published by Taylor & Francis.
- [7] Reyes Carvajal T.L. Coletivo de autores. 2007. **Caracterização energética do setor empresarial na provincial Villa Clara**. XV Fórum Nacional de Ciência e Técnica. Dpto. Energia. Universidad Central de las Villas. Cuba.
- [8] Borroto Nordelo A. Coletivo de autores. 2002. **Gestão Energética Empresarial**. CEEMA. Universidade do Cienfuegos. Cuba.
- [9] Campos Avella J.C. 2008. **Caracterização energética**. HYPERLINK"http://ecodesarrollo.cl" .
http://ecodesarrollo.cl.
- [10] Juan Carlos Brandao 2006. **Subdiretor de Meio ambiente da Europa e Latino América**. ENDESA. Acciones de eficiencia energética e mudança climática no Europa. POWER MEX CLEAN Energy & EFFICIENCY 2006. XII Seminário de Economia de Energia, Cogeneración e Energia Renovável.
- [11] **Eficiência Energética: Estudo Mundial** Indicadores, Políticas, Avaliação. Relatório do Conselho Mundial da Energia em colaboração com o ADEME Julho 2004.
- [12] IDÉIA. 2005. **Eficiência energética e energias renováveis**. Espanha.
- [13] COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS. 22.6.2005. **LIVRO VERDE** sobre a eficiência energética ou como fazer mais com menos. Bruxelas.
- [14]<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/373111>.
- [15]<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/revolu-o-energetica-mostra-o-2/seqeestro-e-armazenamento-de-c/>.
- [15]<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/O-que-fazemos/Clima-e-Energia/>.
- [16]<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2014/nicho-las-stern-os-riscos-sao-ainda-maiores-do-que?tag=clima>.
- [17] Simon Dietz and Nicholas Stern. **Endogenous growth, convexity of damages and climate risk**: how Nordhaus’ framework supports deep cuts in carbon emissions, June 2014 Centre for Climate Change Economics and Policy Working Paper No. 180. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment Working Paper No. 159.



Fluidized bed combustion of sawdust pellets

Mario Matiauda¹, *Juan B. de León Benítez², Nora Freaza¹, Marta Rivero¹

¹Universidad Nacional de Misiones, Posadas, Argentina

²Dpto de ingeniería Química. Facultad de Química Farmacia. Universidad Central de Las Villas; Carretera a Camajuaní km 5 y 1/2, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

*Correspondencia autores: J.B. de León: Tel. 0534221528; juanba@uclv.edu.cu, M. Matiauda: matiauda@unam.edu.ar N.Freaza: freaz@unam.edu.ar; M.Rivero: rivero@unam.edu.ar

ABSTRACT

The combustion in bed fluidized appear with good perspectives inside the technological options for the energetic availability from a fuel, given his flexibility as regards the fuels to employ like his possibilities of clean operation and efficient, beside the possibility of change of scale. In this article expose the results achieved to scale of pilot plant of the operation of a reactor of bed fluidized in the combustion of pellets of sawdust with views to his application in the exploitation of the solid waste in the process of production of bioethanol of lignocelulosicos.

Key-words: combustion- sawdust - bed fluidized

Combustión en lecho fluidizado de pellets de aserrín

RESUMO

La combustión en lecho fluidizado aparece con buenas perspectivas dentro de las opciones tecnológicas para la disponibilidad energética a partir de un combustible, dada su flexibilidad respecto a los combustibles a emplear como sus posibilidades de operación limpia y eficiente, junto a la posibilidad de cambio de escala. En este artículo se exponen los resultados alcanzados a escala de planta piloto del funcionamiento de un reactor de lecho fluidizado en la combustión de pellets de aserrín con vistas a su aplicación en el aprovechamiento de los residuos sólidos en el proceso de producción de bioetanol de lignocelulosicos.

Palabras claves: combustión-aserrín-lecho fluidizado

1 INTRODUCCIÓN

La combustión en lecho fluidizado es un proceso por el cual se convierte un lecho de partículas en estado fluido por medio de una corriente ascendente de gas o líquido.

Al estar expuesto, un lecho fijo de partículas, a una corriente gaseosa ascendente, las partículas individualmente tienden a separarse, iniciando la expansión del lecho. Las partículas se mueven erráticamente con una rápida transferencia de calor en el lecho a pesar de la baja conductividad térmica de gas y partículas, fenómeno extensivo a la transferencia de masa de gas-partículas. El movimiento resulta en un mezclado total y estacionario de los materiales del lecho, con una temperatura de lecho homogénea, aún cuando se dieran procesos fuertemente

exo o endotérmicos. Los sólidos están bien expuestos a la fase gas [1].

La temperatura de combustión está afectada por la velocidad de alimentación del combustible, el contenido de humedad del combustible, la velocidad de alimentación del aire primario o de fluidización, el valor calorífico del combustible, la temperatura de precalentamiento del combustible. El lecho burbujeante es un reactor virtualmente de mezcla total e isotérmico, operando como un contactor gas-sólido donde los sólidos se mezclan permanentemente por el efecto de fluidización, pudiendo establecerse que las partículas sólidas se queman en el lecho mientras los volátiles lo hacen sobre el lecho [2].

En el presente artículo se resume el estudio de la combustión de pellets de aserrín en lecho fluidizado que incluye el análisis de las características del cambio de tamaño del combustible en el proceso y posible influencia sobre los parámetros de velocidad y tiempo de combustión, trabajándose con dos especies maderables claramente distinguibles: pino *elliottii* y palo blanco.

2 DESARROLLO

Modelo de combustión.

El modelo teórico estudia la combustión y liberación de materia volátil de un pellet de madera de geometría cilíndrica, en lecho fluidizado, bajo condiciones predeterminadas de operación. El modelo permite determinar *el tiempo de liberación de materia volátil*, etapa de devolatilización o pirólisis primaria. La materia residual carbonizada (char) se modeliza en base al comportamiento de una partícula que combustiona a densidad constante (*Scala, 2006*). Físicamente se distinguen tres secciones en la unidad: lecho, zona de salpicado y zona libre; el lecho se considera isotérmico; la temperatura del lecho se toma como variable de diseño; la partícula pelletizada se considera homogénea; el material de combustión consiste básicamente en materia volátil, carbono fijo y cenizas; el char sólo contiene carbono fijo y cenizas; la materia volátil se quema fuera de la superficie del lecho, pirólisis secundaria; los productos gaseosos intervienen en reacciones secundarias, una vez que dejan el lecho, a medida que se producen [3][4][5][6].

La combustión en el lecho es gobernada por la transferencia de calor (perfil térmico descrito por ecuación de conducción en modelo bidimensional) y la cinética del proceso de combustión sigue el modelo de Arrhenius con orden uno. Se distinguen dos etapas, desarrolladas secuencialmente: a) devolatilización b) combustión de la partícula residual (char). La primera etapa corresponde al modelo de partícula encogiéndose a densidad constante, en un rango de temperatura superior a 500 °C y corresponde a la pirólisis primaria; el pellet se degrada térmicamente desprendiendo gran cantidad de materia volátil, con transferencia de calor hacia el pellet. Los factores que influyen sobre la devolatilización: diámetro de la partícula de material combustible, temperatura del lecho, cantidad de oxígeno en el gas fluidizante, velocidad superficial del gas, diámetro principal de partícula del lecho y contenido de humedad del combustible [7][8]. La segunda etapa, de combustión del char, se apoya en el modelo del núcleo encogiéndose (disminución de densidad, diámetro de la partícula constante) y modelo de partícula encogiéndose (densidad constante, disminución de diámetro), este último el más apropiado para material maderable.

Equipamiento utilizado

Reactor tubular de 45mm de diámetro y 1 m de alto con cámara de aislamiento térmico de fibra cerámica, cubierta de chapa DDN 18 terminado con epoxi. Posee además una termocupla de indicación, debajo de placa de distribución de gases. Las termocuplas, conectadas a un equipo controlador programable de temperaturas, son de tipo K envainadas, la calefacción se efectúa por tres cilindros concéntricos al tubo reactor, contruidos en resistencias de masa embutimiendo.

El reactor y equipo de control se instalaron en la planta piloto de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales (UNaM), instalándose también el circuito de potencia para su alimentación eléctrica así como el set de termocuplas para la medición de temperaturas, figura 1.

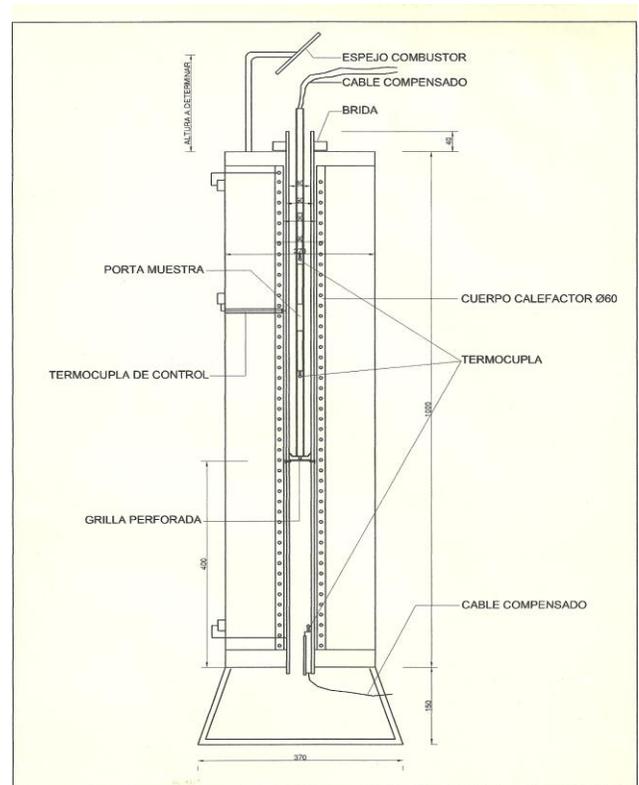


Figura 1. Diagrama del reactor tubular empleado en las experiencias

3 PARTE EXPERIMENTAL

Preparación de las muestras.

Se trabajó con muestras de pino y de palo blanco, de geometría cilíndrica y diámetro d_p (mm) promedio variando en un rango de 10mm a 12 mm, *tabla 1*.

Tabla 1. Dimensiones de las muestras

dp (mm)	L (mm)
12	24
12	18
10	18

Acondicionamiento del lecho

Para condiciones adecuadas de fluidización, se usó lecho de arena de granulometría media (0.42 mm), contenidos de humedad y porosidad controlados; altura media del lecho sin expandir, de 3 a 3.2 cm; inyección de aire con soplador, a velocidad constante, sin modificar la concentración de oxígeno en aire entrante. La temperatura del lecho se mantuvo aproximadamente en un rango de 800 °C a 850 °C.

Estudio de la fragmentación primaria en la etapa de devolatilización.

Tiempo de devolatilización.

Pruebas en el reactor

Se realizaron varias pruebas para determinar el tiempo de liberación de materia volátil (t_v), con el fin de caracterizar la etapa de devolatilización, a la cual se refiere la fragmentación primaria, tomando muestras individuales. El tiempo (t_v) fue determinado por observación visual desde la boca superior de la columna de fluidización, en el reactor. Durante la devolatilización, el cilindro de madera giraba, flotando suspendido en el lecho fluidizado, mostrando un aspecto brillante, incandescente, con desprendimiento de volátiles.

Se determinó el tiempo (t_v) al observarse ignición (formación de llama), induciendo la formación de coque y posterior oscurecimiento de la muestra, con decrecimiento gradual de tamaño, **tabla 2**.

Tabla 2- Tiempos de devolatilización (t_v) (pino)

dp/L (mm)	t_v (s)
12/24	47
12/24	60
12/18	58
10/18	45

Se realizaron pruebas similares a la descrita anteriormente, teniendo en cuenta los mismos parámetros y condiciones de operación, para muestras obtenidas con varillas de *palo blanco*, densidad: 860,0 (kg/m³) y contenido de humedad: 15 (% peso), **tabla 3**

Tabla 3- Tiempos de devolatilización (t_v) (palo blanco)

dp/L (mm)	t_v (s)
12/24	68
12/24	67
10/18	47

4 RESULTADOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES.

i) Para los tiempos de devolatilización teóricos, se utilizó una relación de la forma:

$$t_v = \lambda_v (dp)^\phi \quad (1)$$

En la que el tiempo de liberación de volátiles (t_v) está dado en términos del diámetro de la muestra (dp) y los parámetros (λ_v) constante de proporcionalidad y (ϕ), exponente en la función potencial. La constante de devolatilización (λ_v) depende del tipo de combustible y de la temperatura del lecho.

La determinación de (λ_v) y de (ϕ) se efectúa en ajuste con los valores experimentales (gráfico) y/o tabla de valores como aparece en la **tabla 4**.

Tabla 4- valores experimentales de Tiempos de (λ_v) y (ϕ)

Temperatura del Lecho(°K)	873 - 923			973 - 1073			1073 - 1103		
Pellet (d_p) (mm)	10	8	6	10	8	6	10	8	6
λ_v	1.9			1.7			1.5		
ϕ	1.01			1.08			1.1		

Se compararon los tiempos obtenidos para pellets compactados de aserrín de pino y muestras cilíndricas obtenidas de varillas de pino, utilizando la correlación dada por la **ecuación (1)**, así como también los tiempos teóricos y medidos para las muestras cilíndricas, como se muestra en la **figura 2**.

Utilizando el valor de $\phi = 1.1$ ($T_1 = 800$ °C), estimado para la combustión de pellets, se obtiene un valor del parámetro $\lambda_v = 3.6$ [s/mm⁰] ($T_1 = 830$ °C), para las muestras cilíndricas.

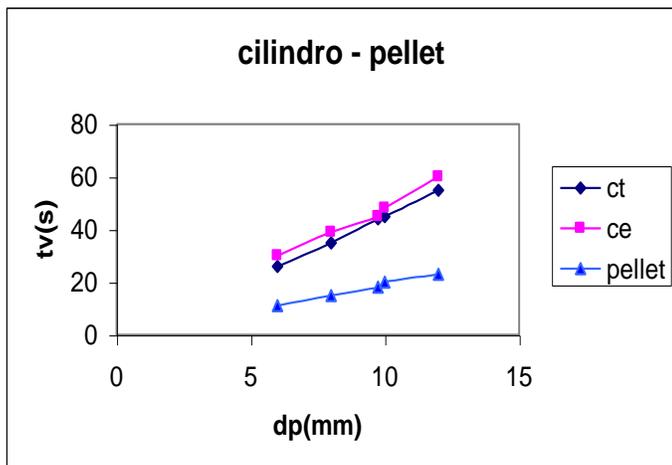


Figura 2. Comparación de los tiempos de desvolatilización donde ct = cilindro (tiempo teórico) y ce = cilindro (tiempo experimental)

Sobre la fragmentación primaria

En esta etapa de devolatilización, se realizó la extracción de muestra residual y posterior evaluación de tipo y número de fragmentos obtenidos.

a) Pino

El residuo post-devolatilización consistió en un cilindro de dimensiones reducidas, generando muy pocos fragmentos. Un ejemplo se muestra en la *tabla 5*.

Tabla 5- Dimensiones del cilindro que conforma el residuo de la post devolatilización

dp/L (mm)	dp^* (mm)	L^* (mm)
12/24	9,5 – 10	18

b) Palo blanco

Para una temperatura del lecho $T_l = 820$ °C, los residuos obtenidos en la etapa de devolatilización presentaron características particulares con relación a los obtenidos para las muestras de pino.

En general, el cilindro residual no conservó su estructura, es decir, produjo un número mayor de fragmentos, de dimensiones variables.

Se observaron también diferencias en el aspecto y consistencia de los residuos de una y otra muestra. Los residuos de pino devolatilizados se mostraron sólidos, como “carbones”, presentando una coloración de marrón oscuro a negro; los de palo blanco, en cambio, resultaron blanquecinos y de consistencia frágil, similar a la ceniza como se muestra en la figuras 3 y 4.



Figura 3: Residuo de pino



Figura 4: Residuo de palo blanco.

c) Evolución térmica en la etapa

Se compararon las evoluciones térmicas para muestras de pino y palo blanco. Para ello se suspendieron los cilindros de ambas muestras en el lecho fluidizado a ($T_l = 820$ °C) mediante termocupla dispuesta en sentido longitudinal, en coincidencia con el centro de la muestra; se registraron las temperaturas durante la etapa de devolatilización, figura 5.

Se realizaron idénticas pruebas en el reactor, sin lecho fluidizado, usando muestras de pino y de palo blanco $dp/L = 12/24$ mm, con el fin de determinar el tiempo de devolatilización y caracterizar el residuo devolatilizado, figura 6.

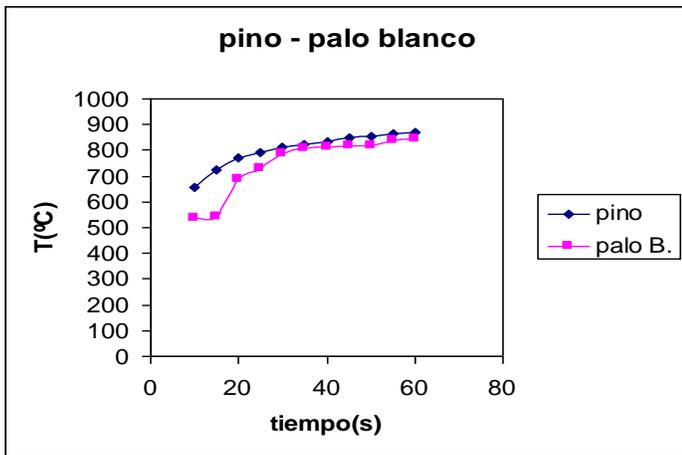


Figura 5. Resultados de evaluaciones térmicas para muestras de pino y palo blanco en el lecho fluidizado a ($T_l = 820^\circ\text{C}$) en función del tiempo.

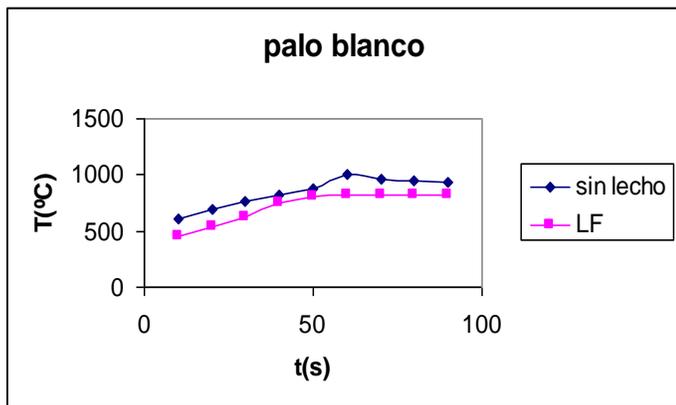


Figura 6. Resultados de evaluaciones térmicas para muestras de pino y palo blanco sin lecho fluidizado a ($T_l = 820^\circ\text{C}$) en función del tiempo.

Cuantificación del fenómeno de fragmentación primaria

La fragmentación primaria ocurre en forma inmediata al alimentar las muestras combustibles poniéndolas en contacto con el lecho fluidizado, dentro de la columna de fluidización del reactor, debido al corto tiempo transcurrido para devolatilizar la partícula combustible, frente al tiempo necesario para la combustión del “char”, asociado a la fragmentación secundaria.

Los resultados de la fragmentación primaria, para las dos muestras usadas, se expresan por medio de los siguientes indicadores:

- p_f , que mide la probabilidad de fragmentación primaria; representa el número de fragmentos generado por unidad de partículas combustibles que sufren

fragmentación al devolatilizar, dividido por el número total de partículas alimentadas.

- f_l , factor de multiplicación de fragmentación primaria; representa el número de fragmentos generados por unidad de partículas combustibles alimentadas al reactor.
- d_p^* , diámetro medio de las partículas de char después de la devolatilización.

Resultados

Se trabajó con grupos de muestras, tanto de pino como de palo blanco, alimentándolas al reactor en varias corridas regulares, en lecho fluidizado durante el tiempo t_v (s).

En general, los residuos devolatilizados presentaron características disímiles, tratándose de pino o de palo blanco. En el primer caso, el coke devolatilizado se mostró entero en sus tres cuartas partes; en tanto que el palo blanco, se mostró fragmentado.

La **tabla 6** registra los resultados de los experimentos de la fragmentación primaria

Tabla 6- Resultados de la fragmentación primaria

Muestra	f_l	d_p (mm)	d_p^* (mm)
Pino	1,45	10 – 12	9,5 - 10
Palo blanco	2	10 – 12	6 – 8,5

Donde:

d_p , diámetro inicial de las partículas alimentadas (mm)

d_p^* , diámetro medio de partículas devolatilizadas (mm)

p_f probabilidad de fragmentación primaria (-)

f_l , factor de multiplicación de fragmentación primaria (-).

4 CONCLUSIONES

La fragmentación primaria ha sido estudiada registrando el número y tamaño de partículas producidas por la muestra combustible después de la devolatilización.

Las muestras de pino experimentaron fragmentación moderada dando un factor de multiplicación f_l aproximadamente igual a 1,45. Esto lleva a una reducción del diámetro medio, que podría ocurrir inmediatamente después de inyectar las partículas combustibles en el lecho fluidizado como consecuencia de las tensiones térmicas y sobretensiones provocadas por la liberación

de materia volátil; pero, también, esta reducción podría deberse al encogimiento particular.

En el caso del palo blanco la fragmentación se cuantifica por un f_f aproximadamente igual a 2 o mayor y una p_f , también mayor, con relación al pino.

En general, se produce una reducción radial, próxima al 21% en las muestras de pino y algo mayor, para palo blanco, evidenciándose este aspecto después de la devolatilización.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Saxena,S.C; Joshi,C.K.. ”**Fluidized bed icineration of waste materials**” Progress in Energy and combustion Science, 1994.

[2] Anthony, F. J. “**Fluidized bed combustion of alternative solid fuels: status, success and problems of the technology**”. Progress in Energy and Combustion Science,1995.

[3] Scala,F; Salatino,P. “**Modelling fluidized bed combustion of high-volatile solid fuels**”. Chemical Engineering Science. No. 57. pp. 1175-1196, 2002.

[4] Scala,F; Chirone, R. “**Combustion an Attrition of biomass Chars in a Fluidized Bed**”. Energy and Fuels, 2006

[5] B. Leckner, K. Hanason, C. Tullin, A.V. Borodulya, V. Dikalenko- **Kinetics fluidized bed combustion of wood pellets. Reuter RB**, ed. 15th Int. Conf. on Fluidized Bed Combustion, vol. Paper FBC99-0047 Paper FBC99-0047 Savannah: ASME, 1999.

[6] Leckner B, Palchonok G, Borodulya VA, Tullin C, **Samuelsson J. Influence of attrition on combustion of biomass pellet char**. In: Salatino P., ed. International Energy Agency Workshop, Attrition Phenomena in Fluidized Bed Conversion University of Salerno, Italy, 2000.

[7] Moreno, R.; Rios, .R. “**Study of sawdust drying techniques in fluidized bed**”. Engineering, 2002- 82(3).

[8] Stubington,J.F; Davidson,J.F. “**Gas phase combustion in fluidized beds**”. A.I.Ch.E. journal, 27,59, 1981.



Characterization of the Specific Absorption Rate of the Cell Phone in the Human Head, Using the LN-FDTD Method

Adelson Bezerra de Medeiros^a, Jandecy Cabral Leite^b

^aDr., Universidade Federal do Pará (UFPA). (medeiros@ufpa.br)

^bDr., Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) . Brasil. (jandecy.cabral@itegam.org.br).

ABSTRACT

In this work we show how the study of the absorption of electromagnetic energy will be approached in biological tissues of the human head, originating from cell phones in a 900MHz band, and the development of a program to calculate the Specific Absorption Rate (SAR) in the cell phone user's head. The implementation of the Local Non-Orthogonal Finite-Difference Time Domain method is presented (LN-FDTD), and the use of Uniaxial Perfectly-Matched Layer (UPML), comparing the results obtained with the existing results in the literature.

Keywords: Cell phone, Biological Effects, Specific Absorption Rate (SAR), Local Non-Orthogonal Finite-Difference Time Domain (LN-FDTD), Uniaxial Perfectly-Matched Layer (UPML), Non-ionizing radiation.

1 INTRODUCTION

The popularity of the mobile telephony in the globalized world has caused a growing demand of the people's needs in the globalized society in trying to reduce the distances among them, what made the mobile communication easier and at the same time provided new life perspectives. Even with all the progress on the mobile telephony, through their benefits and applications on behalf of the society, this kind of system causes damages to the human health, since, in several situations, these gadgets can emit high potencies when they are very close to the user's head. In these cases, due to the great exposition to the electromagnetic radiations which people are submitted, a considerable portion of the irradiated energy is absorbed by the head tissues: skin, fat, bone and brain etc, some of which are formed by extremely sensitive elements which are very important for the human being, as for instance: the neurons, chromosomes etc. This absorption of non-ionizing electromagnetic energy can provoke basically two effects: (a) The "Thermal Effects" and (b) "Non-Thermal Effects" [1-2].

The thermal effects have been known for at least 50 years (fifty years). They originate from the heating of the tissue. The radiation is not only absorbed at the level of the skin, but also in deeper levels of the body, causing a temperature increase which is not noticed by the natural thermal sensors because it's superficially located. That generated internally heat, depending

on the amount of exposition time, the intensity of the field and the thickness of the tissue, cannot be compensated and it causes serious damages: (a) increase of the temperature in the organs, (b) alterations in their electric operation due to modifications in the chemical operation of the cells and (c) alterations in the mechanism of electric signs transmission, from the brain to the muscles, according to Salles [3].

The exhibition limits vary according to the frequency, partly for considering the resonance and also for considering the smallest depth of penetration of the electromagnetic fields in higher frequencies. The resonance is important because when this phenomenon happens, it results in larger absorption of energy, for instance: an adult's head can present resonance in bands from 400 to 500 MHz, and in a child's head the resonance can happen in bands from 700 to 800 MHz (ICNIRP, 1998). The non-thermal effects are biochemical or electro-physical effects caused directly by the induced electromagnetic fields. These effects are still part of studies which present conflicting results in the international scientific literature. The effects that were clearly demonstrated include the alteration in the ions flow through the membranes of the cells (affecting particularly the electro-physiologic properties of the nervous cells) alterations in the synthesis of DNA and in the transcription of RNA and effects in the normal cells responses to the signaling molecule (including hormones, neurotransmitters and growth factors). Alterations in

the flow of calcium in the cells, in the blood-brain barrier that protects the brain from certain toxins and in the development of brain tumors which were reported by (Fischetti, 1993).

In the problem we are proposing, the non-ionizing radiation is used to determine the Specific Absorption Rate of the cell phone in the human head, varying the distance from the cell phone to the head and the frequency of the cell phone. We used the Local Non-Orthogonal Finite-Difference Time Domain method (LN-FDTD) [4], which contributed to the development of an algorithm to obtain the (SAR) of the cell phone in the user's head.

The main contribution of this work is to present a numerical method to solve the staircase problem in an ellipsoid surface and the obtaining of the results that are more precise and time saving in the computational field.

2 THEORETICAL IMPLEMENTATION OF THE LN-FDTD METHOD

We defined an irregular non-orthogonal structured grid composed of meshes denominated primary and secondary. The primary mesh is projected to adapt the geometry of the problem, the one that can be accomplished by the use of a generator of adaptive meshes. This mesh can also be chosen to align with the components of the electric or magnetic field, depending on the contour/outline condition that is imposed in the physical geometry. Then, the second mesh is generated by the connection of the baricenters of the primary mesh cells.

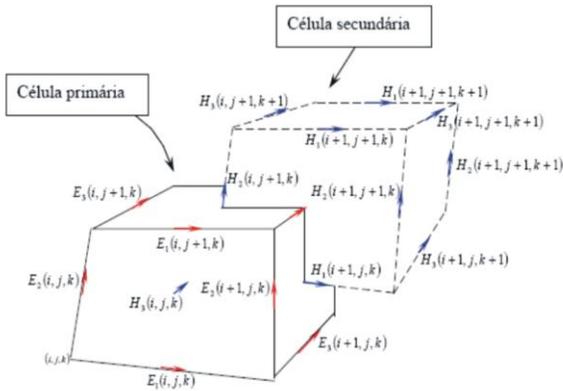


Fig. 1. Primary and secondary cell of an irregular non-orthogonal structured mesh.

For the geometries that can be discretized by this kind of grid, it is defined the unitary vectors of base, A_i (1,2,3), for the edges of the primary and secondary meshes cells, according to figure 2.

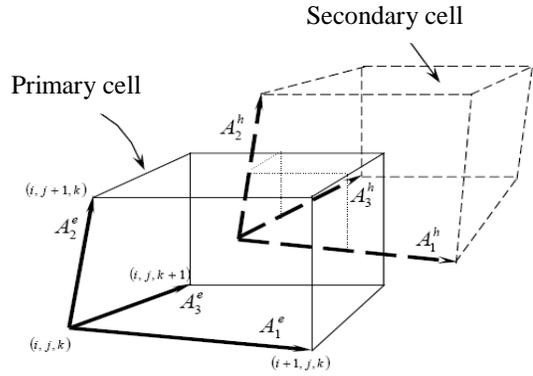


Fig. 2. Definition of the unitary vectors of base for the primary and secondary cells in the system of local curvilinear coordinates.

Because the equations of Maxwell in the integral form are applied naturally in a non-orthogonal irregular space they will be used to obtain the components for updating the electric and magnetic fields in the time domain, using the LN-FDTD method. Being considered an isotropic environment and free from sources [5], it can be written as:

$$-\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \mu H \cdot da = \oint_{\partial\Omega} E \cdot dl \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \epsilon E \cdot da = \oint_{\partial\Omega} H \cdot dl \quad (2)$$

The electric field $E(i, j, k)$ in a point (i, j, k) of the grid which can be expressed in terms of the two bases, respectively, as,

$$E(i, j, k) = \sum_{j=1}^3 E^j(i, j, k) A_j(i, j, k) \quad (3)$$

$$E(i, j, k) = \sum_{j=1}^3 E_j(i, j, k) A^j(i, j, k) \quad (4)$$

In (3) and (4), the coefficients E^i and E_i are called contra-varying and co-varying components, respectively, of the electric

field. The co-varying component $E_i(i, j, k)$ represents the flow of $E(i, j, k)$ along the edge i , and $E^i(i, j, k)$ represents the total flow of the electric field passing through the face i .

Starting from the physical interpretation, we can write the expressions for the fields (E e H), that appear in the line integral (right side) of the equations (1) and (2). We solve equation (1) using the LN-FDTD method, for the contra-varying component of the magnetic field $H^i(i, j, k)^{n+\frac{1}{2}}$, assuming that it is constant on the face of each cell, and written in function of the volume of the cell, resulting in,

$$\mu \frac{\partial}{\partial t} H^1(i, j, k)^n V = \left(E_3(i, j+1, k)^n - E_3(i, j, k)^n \right) - \left(E_2(i, j, k+1)^n - E_2(i, j, k)^n \right) \quad (5)$$

In the system of local curvilinear coordinates, the volume V is defined for each contra-varying component, starting from the vectors of unitary base which define the cell in the picture (2).

For the calculation of the relative volume of a certain face, it is necessary to know the unitary base vector of the normal contra-varying component to this face and the four vectors of unitary base, of the dual mesh, which define the face through which the vectorial contra-varying field passes. This way, the volume for the component H^1 , in agreement with the pictures (1) and (2) is given by:

$$V_1^h = A_1^h(i, j, k) \left[\left(\frac{A_2^e(i, j, k+1) + A_2^e(i, j, k)}{2} \right) \times \left(\frac{A_3^e(i, j+1, k) + A_3^e(i, j, k)}{2} \right) \right] \quad (6)$$

We can obtain the updating expression for the contra-varying component of the magnetic field $H^1(i, j, k)^{n+\frac{1}{2}}$, which is done by replacing (6) in (5) resulting in,

$$H^1(i, j, k)^{n+\frac{1}{2}} = H^1(i, j, k)^{n-\frac{1}{2}} - \frac{\Delta t}{\mu V_1^h(i, j, k)} \left[\left[E_3(i, j+1, k)^n - E_3(i, j, k)^n \right] - \left[E_2(i, j, k+1)^n - E_2(i, j, k)^n \right] \right] \quad (7)$$

The other contra-varying component of the magnetic field $H^2(i, j, k)^{n+\frac{1}{2}}$ and $H^3(i, j, k)^{n+\frac{1}{2}}$, and the vectors V_2^h and V_3^h are obtained in a similar way. The solution of the equation (2), by the LN-FDTD method, to calculate the contra-varying component of the electric field $E^1(i, j, k)^{n+1}$

$$E^1(i, j, k)^{n+1} = E^1(i, j, k)^n + \frac{\Delta t}{\varepsilon(i, j, k) V_1^e(i, j, k)} \left[\left[H_3(i, j, k)^{n+\frac{1}{2}} - H_3(i, j-1, k)^{n+\frac{1}{2}} \right] - \left[H_2(i, j, k)^{n+\frac{1}{2}} - H_2(i, j, k-1)^{n+\frac{1}{2}} \right] \right] \quad (8)$$

The contra-varying components of the electric field $E^2(i, j, k)^{n+\frac{1}{2}}$ and $E^3(i, j, k)^{n+\frac{1}{2}}$ are obtained in a similar way, with their respective volumes given by:

$$V_1^e(i, j, k) = A_1^e(i, j, k) \left[\left(\frac{A_2^h(i, j, k) + A_2^h(i, j, k-1)}{2} \right) \times \left(\frac{A_3^h(i, j, k) + A_3^h(i, j-1, k)}{2} \right) \right] \quad (9)$$

The volumes V_2^e and V_3^e are obtained in a similar way. It is necessary to convert the contra-varying components of the electric field into co-varying components, so that the contra-varying components of the field H can make calculations, and vice-versa.

3 DESCRIPTION OF THE MODEL

The development of this work will happen inside an UPML [6], whose walls are covered by absorbent layers (ABC), which plays the role of the contour/outline conditions. The interior of the UPML is called analysis area, and a human head

will be put with its respective dielectric properties: conductivity, permeability and permittiveness of each tissue, distant 9mm, 18mm and 27mm from the dipole of variable frequency of

900MHz and 1800MHz, which will measure the electric field on each point of the cell, in agreement with Figure 3.



Fig 3. UPML model for the implementation of the LN-FDTD technique.

4 DESCRIPTION OF THE LN-FDTD MODEL OF THE HUMAN HEAD.

In this work we make a description of the data and the development of the LN-FDTD numerical model, using the human head experiment. The model is detailed with the different types of tissues: skin, fat, leather-hairy, bone, blood, etc., and with their respective dielectric properties. The human head model validated in the literature with the following dimensions: 264 height mm, 177 width mm and 240 depth mm. They were obtained from available medical images. A total of 226 images of axial cuts were used, with spacing of 9mm, yielded by the "Ofir Loyola Hospital", and recommended by the research laboratory AT Telstra Research Laboratories (TLR) [7] each image is composed of 177X240 points or pixels, composing a mesh of 42.480 cells. For a better aid in the discretization of the tissues, images of computerized tomography and magnetic resonance were used. It has been observed that the pick of SAR is in the base of the nose. This pick also coincides with the presence of the highest tissues of the conductivity: skin, blood, and cartilage, in agreement with the values of the table 1 [7]. Table I. Delectric properties of the human head tissues .

of electric field and SAR. The standard user's head modeling with the following dimensions: 264mm of height (from the chin to the head's top), 177mm of width (from ear to ear), and 240 depth mm (from nose to the rear part of the head) which was constituted by 89 plane sections.

They were obtained from available medical images. A total of 226 images of axial cuts were used, with spacing of 9 mm, yielded by the "Ofir Loyola Hospital." Each image is composed of 177 x 240 points or pixels, composing a mesh of 42480 cells. For a better aid in the discretization of the tissues, images of computerized Tomography and Magnetic Resonance were used. Initially, we made simulations for the problem consisting of a uniformly plane wave interacting with the human head. We adopted, for an experimental simulation, a non-homogeneous environment, with the dielectric constants of the table 1, and, for the frequencies of 900MHz and with a potency of 1W, 0.6W 0.25W, that were recommended by IEEE SCC-34/S-2. For a simple model of human head in 2-D with an axial cut in the plan xy, excited by a dipole antenna 90mm long.

The variation of the distance, from the antenna to the head; 9mm guided along the axis z. The acquired results regarding the simulation of the electric field and SAR, after 1750 interactions, in the frequencies of 900MHz. For a potency of 1W, 0.6W, 0.25W and in the frequency of 900MHz, in agreement with the table 2.

Tissue	Conductivity ($\Omega^{-1}m^{-1}$)	Relative Permissiveness	Mass Density (kg/m^3)
Cartilage	0.782	42.65	1000
Muscle	0.969	55.95	1050
Eye	1.900	70.00	1000
Brain & Nerve	0.766	45.80	1050
Skin	0.867	41.40	1000
Blood	1.180	62.00	1000
Skull	0.242	16.62	1850

Table 2. Frequency of operation.

Frequency of operation	Distance (mm)	Potency Antenna Exit (W)	Electric Field Medium (V/m)	SAR Medium (W/Kg)
900MHZ	9	1.0	126	15.4
		0.6	75.6	5.56
		0.25	31.5	0.96

5 RESULT OF THE HUMAN HEAD MODEL.

The effects of the non-ionizing electromagnetic radiation in the human head are being studied; as the distribution

Based on the values of the table 2, the graphic SAR versus distance are built for the bands of frequency of 900 MHz which were chosen in the column form, and SAR versus 1750 interactions, in which the graphic of the pictures (4) and (5) were

chosen, to give a better understanding of the acquired data during the simulation. Considering the picture (4) for the band of 900 MHz, we can observe that the acquired results in relation with the potencies of 1W and 0.6W are above the expected; while the data relative to the potency of 0.25W in the table (2) show the values of SAR within the limit established by the international agencies and by the national agency ANATEL. In the potencies of 1W and 0.6W versus the distances of 9 mm, SAR is above the norms of the international organizations like ICNIRP [8] and also of the norms of the national agency ANATEL [9]; while, for the potencies of 0.25W, in the distance of 9mm, it's within the maximum limit allowed by law. Most of the results were superior to the limit established by ICNIRP of 2 W/Kg for the population in general.

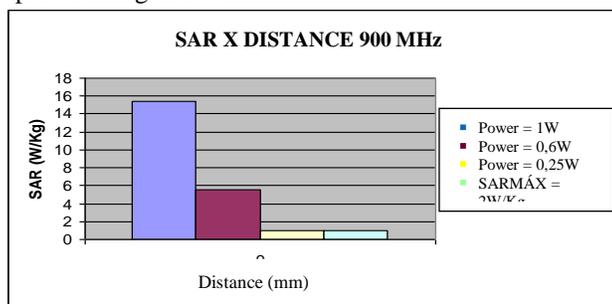


Fig.4. Graphic of the SAR Columns versus distance for a band of 900MHz

We analyzed that some areas of the brain present larger or smaller absorption, as displayed on (Figure 5).

6 CONCLUSION

In this work the development of a numerical LN-FDTD method is described (Local Non-Orthogonal Finite-Difference Time Domain (LN-FDTD)), that it is used to determine the absorption of electromagnetic energy in the human head's area. We also supply a study concerning the main aspects of the algorithm to quantify the specific absorption rate (SAR) in the human head.

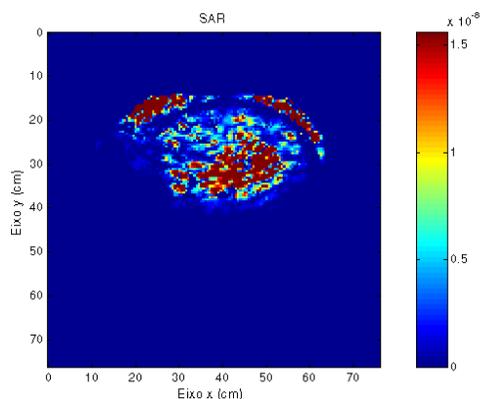


Fig. 5. Present larger or smaller absorption

The results prove the usefulness of the method in the capacity to verify the precision and the efficiency in the solution of problems that involve non-homogeneous materials.

They also indicated a significant influence of several types of tissues that form the human head, and important factors when interpreting the experimental results, particularly (for a plane wave, whose frequency is 900 MHz), for a medium rate of the head's axial plan.

The values of SAR pick are significantly higher for the areas; eyes and nose of the heterogeneous human head's model.

The results presented for SAR, in the potency of 1W and 0.6W are above the values established for safety's norms; while the value of 0.25W satisfies the demands of the international agencies such as; ICNIRP and ANATEL.

7 REFERENCES

- [1] Salles, A.A. "Riscos á saúde provocados pelos telefones celulares". EGATEA, Revista da Escola de Engenharia UFRGS, vol. 24, n° 1, pp.7-16 (1997).
- [2] Salles, A.A.A, Fernandez, C. Bonadiman, M. (2002) "Simulações do Campo Distante e da SAR na Cabeça do Usuário do Telefone Celular para Antenas Convencionais e Planares". In: E. Fontana e A.J.B de Oliveira. [ed]. Anais do X Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletronica – SBMO2002, Recife, vol.1.p.347-351.
- [3] A. A. Salles, C. Fernández, and M. Bonadiman, (2003) "Simulações da SAR na cabeça e antena planares para telefones móveis," Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, vol. 19, n° 2, pp. 77-90.
- [4] R. Holland, "Finite-Difference solution of Maxwell's equations in generalized nonorthogonal coordinates," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 6, Dec. 1983.
- [5] J.F.Lee Modeling **Three-Dimensional Discontinuities in waveguides Using Non-orthogonal FDTD Algorithm.** *IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-40, n°2, Feb,(1992).
- [6] S. D. Gedney, "An Anisotropic Perfectly Matched Layer-Absorbing Medium for the Truncation of FDTD Lattices," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, pp. 1630-1639, Dec. 1996.
- [7] R. L McIntosh, R. McKenzie, and A. Carratelli, "The Numerica Evaluation of a SAR Measurement Phantom at

the Telstra Research Laboratories”. WARS02 - Workshop on the Applications of Radio Science.[Online]. Available: <http://www.ips.gov.au/IPSHosted/NCRS/wars/wars2002/proceedings/index>.

- [8] **International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP)**. "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300GHz)", *Health Physics*, Vol.77, No. 4., Apr. 1998, pp. 494-522.



Harmonic Impact analysis coming from the manufacturing processes of a Eletroeletrônica Industry Using KDD and Decision Trees

¹Rildo de Mendonça Nogueira, ¹Edson Farias de Oliveira, ¹Waterloo Ferreira da Silva, ²Ádamo L. Santana, ²Maria Emília de Lima Tostes, ²Thiago Mota Soares

1 Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica – PPGEE, Universidade Federal do Pará - UFPA
Belém - PA, Brasil

2 Instituto de Tecnologia – ITEC, Universidade Federal do Pará - UFPA
Belém – PA, Brasil

rildonogueira,edsonfarias2007, waterloof}@hotmail.com, tostes,adamo,thiagosoares}@ufpa.br

ABSTRACT

This paper approaches the analysis of the current distortion impact due the harmonic frequencies present at the power grid of an industry facility at Manaus during the manufacturing process of informatics devices. The reason for such frequencies to appear are the presence of non linear loads from personal computers, notebooks and tablets. The data were collected in a measurement campaign during a week, using quality energy analyzers at different production process supplied by 13,8kV and with a nominal load of 800kVA. The main objective of this paper is to present an analysis based on computational intelligence using decision tree to determine and quantify the harmonic distortions commonly present at manufacturing process of informatics industries using simultaneous measurements of voltage and current to determine which process has the biggest impact in the total harmonic distortion at the common coupling point between the factory and the energy dealers.

Keywords: Energy Quality, Total Harmonic Distortion of Voltage, Total Harmonic Distortion of Individual Current, Decision Tree.

Analises De Impactos Harmônicos Oriundos Dos Processos De Manufatura De Uma Indústria De Eletroeletrônica Utilizando Kdd E Árvores De Decisão

RESUMO

O trabalho aborda a análise do impacto de distorção atual, devido as frequências harmônicas presentes na rede de energia de uma instalação de indústria em Manaus durante o processo de dispositivos de informática de fabricação. A razão para essas frequências para aparecer são a presença de cargas não lineares a partir de computadores pessoais, notebooks e tablets. Os dados foram coletados em uma campanha de medição durante uma semana, usando analisadores de energia de qualidade a diferentes processos de produção fornecidos pela 13,8kV e com uma carga nominal de 800 kVA. O principal objetivo deste trabalho é apresentar uma análise baseada em inteligência computacional utilizando árvore de decisão para determinar e quantificar as distorções harmônicas comumente presentes no processo de fabricação de indústrias de informática usando medições simultâneas de tensão e corrente para determinar qual processo tem o maior impacto no distorção harmônica total no ponto de acoplamento comum entre a fábrica e os concessionários de energia.

Palavras Chaves: Qualidade no processo, Soldagem Reflow; Componente BGA, Cross section, Cracks.

1 INTRODUÇÃO

O termo genérico eletrônica de potência é empregado nos sistemas elétricos e nos produtos que envolvem controle e conversão do fluxo de energia elétrica. Atualmente, os sistemas

elétricos sofrem grandes influências na geração de fontes contaminantes ou produtoras de harmônica destacando-se fundamentalmente, as cargas não lineares empregadas nas instalações industriais, residências e comerciais. Com isto,

contribui-se para o aumento de problemas relacionados com a qualidade da energia elétrica fornecida [1][2].

Por outro lado, as cargas monofásicas não lineares e de baixa potência que possuem alta representatividade na geração de distorções harmônicas e, que estão presentes em grande número, principalmente em aparelhos eletrônicos, fontes de alimentação, notebooks, reatores de lâmpadas fluorescentes, monitores de vídeos, tablets e computadores de mesa. As consequências mais significativas das distorções harmônicas são detectadas no Ponto de Acoplamento Comum – PAC, neste ponto as cargas específicas e outras cargas consumidoras do sistema elétrico de potência estão ligadas em um ponto comum com a concessionária de energia elétrica [3].

As medições das distorções harmônicas têm sido usadas para caracterizar o comportamento de cargas não lineares, para localizar fontes harmônicas e quantificar os níveis de distorções harmônicas em sistemas de energia [4]. Mesmo em novos conceitos de distribuição de energia elétrica, há uma preocupação com a distorção harmônica total (THD) e outros indicadores de qualidade de energia [5]. O THD é o índice harmônico mais comum usado para avaliar e medir as condições de variações da Qualidade da Energia em condições não senoidais.

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) desenvolveu os Procedimentos de Distribuição de Energia (PRODIST)[6]. A atual revisão do PRODIST entrou em vigência em primeiro de janeiro de 2010. Dentre os principais objetivos do PRODIST encontra-se o de garantir que os sistemas de distribuição operem com segurança, eficiência, qualidade e confiabilidade. O Módulo 8 do PRODIST regula a qualidade da energia em redes de distribuição.

No âmbito da injeção dos harmônicos na rede elétrica, o PRODIST define os limites de correntes e tensões apresentados nas Tabelas I e II.

Apesar da legislação vigente não penalizar as indústrias pela geração de correntes harmônicas no sistema de energia, já existe indicação de que em breve a ANEEL divulgará uma nova legislação para avaliar os impactos oriundos das indústrias, conforme citação da nota técnica 0083/2012-SRD/ANEEL [7] onde a mesma faz referência a norma australiana que impõe valores de referência para a distorção harmônica da tensão (a serem observados pela distribuidora) e outros à corrente harmônica de equipamentos conectados na rede (a serem observados pelo consumidor).

Tabela I. Valores Globais Das Distorções Harmônicas Totais.

Tensão Nominal do Barramento	Distorção Harmônica Total de Tensão (%)
$V_n \leq 1 \text{ kV}$	10
$1 \text{ kV} < V_n \leq 13,8 \text{ kV}$	8
$13,8 \text{ kV} < V_n \leq 69 \text{ kV}$	6
$69 \text{ kV} < V_n \leq 230 \text{ kV}$	3

Tabela II. Níveis De Referência Para Distorções Harmônicas Individuais De Tensão.

Ordem Harmônica	Distorção Harmônica Individual de Tensão [%]				
	$V_n \leq 1 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < V_n \leq 13,8 \text{ kV}$	$13,8 \text{ kV} < V_n \leq 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} < V_n \leq 230 \text{ kV}$	
Ímpares não múltiplos de 3	5	7,5	6	4,5	2,5
	7	6,5	5	4	2
	11	4,5	3,5	3	1,5
	13	4	3	2,5	1,5
	17	2,5	2	1,5	1
	19	2	1,5	1,5	1
	23	2	1,5	1,5	1
	25	2	1,5	1,5	1
> 25	1,5	1	1	0,5	
Ímpares múltiplos de 3	3	6,5	5	4	2
	9	2	1,5	1,5	1
	15	1	0,5	0,5	0,5
	21	1	0,5	0,5	0,5
	> 21	1	0,5	0,5	0,5
Pares	2	2,5	2	1,5	1
	4	1,5	1	1	0,5
	6	1	0,5	0,5	0,5
	8	1	0,5	0,5	0,5
	10	1	0,5	0,5	0,5
	12	1	0,5	0,5	0,5
	> 12	1	0,5	0,5	0,5

Apesar da legislação vigente não penalizar as indústrias pela geração de correntes harmônicas no sistema de energia, já existe indicação de que em breve a ANEEL divulgará uma nova legislação para avaliar os impactos oriundos das indústrias, conforme citação da nota técnica 0083/2012-SRD/ANEEL [7] onde a mesma faz referência a norma australiana que impõe valores de referência para a distorção harmônica da tensão (a serem observados pela distribuidora) e outros à corrente harmônica de equipamentos conectados na rede (a serem observados pelo consumidor).

Os efeitos das distorções harmônicas incluem: o aumento dos valores de pico de tensão (pode levar o sistema de isolamento à ruptura); o aumento dos valores eficazes de ondas alternada conhecida como RMS (Root Mean Square) (leva a aumentar as perdas de potência) e o aumento da tensão e corrente de espectro de frequência (vibrações adicionais e desgaste mecânico) [8][9][10].

A circulação de correntes harmônicas produz aquecimento adicional em transformadores, cabos de alimentação, motores e alternadores, bem como avarias no sistema de correção do fator de potência. Além disso, problemas

inesperados em dispositivos de proteção, operação errada em equipamentos eletrônicos sensíveis (computadores, equipamentos de comando e controle, etc.) e erros nos valores dos equipamentos de medição (por exemplo, balanças industriais eletrônicas, dosímetros eletrônicos, etc.).

Com o objetivo de avaliar os impactos das cargas não lineares em uma fábrica de computadores e permitir a antecipação com relação à legislação que em breve deverá surgir, foram definidas em conjunto com a indústria e os pesquisadores a metodologia a ser aplicada no referido trabalho: Instalar 5 medidores de qualidade de energia durante 7 dias em diferentes circuitos, coletar os dados, converter os dados, aplicar técnicas estatísticas, aplicar técnica de mineração de dados, aplicar inteligência computacional e avaliar os resultados.

Assim, esse estudo proporcionara uma análise através de árvore de decisão para identificar os impactos das componentes harmônicas individuais de corrente das cargas não lineares oriundas de equipamentos de informática nas distorções harmônica total de tensão - THDv de entrada de uma indústria montadora de equipamentos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Optou-se pela metodologia KDD (*Knowledge Discovery in Databases*) ou Processo de Descoberta de Conhecimento em Base de Dados [11][12][13][14][15], pelo fato da mesma possuir características necessárias para a manipulação de grandes volumes de informações. Igualmente, o seu uso é justificável tendo em vista a necessidade de sistemas baseados em inteligência computacional.

No processo de descoberta de conhecimento em bases de dados, empregam-se várias etapas que se interligam como: Seleção, Pré-processamento, Transformação, Mineração de dados e Interpretação. Como demonstrado na Fig. 1.

Dentre as várias técnicas de mineração de dados utilizadas nas análises, selecionou-se a técnica de árvore de decisão [14][16][17]. A técnica selecionada foi definida por apresentar as seguintes características: um problema complexo é decomposto em subproblemas mais simples, recursivamente a mesma estratégia é aplicada em todos os subproblemas, Por levar em conta o atributo mais relevante na tomada de decisão, ser de fácil compreensão pela maioria das pessoas, escolher e representar os atributos por ordem de importância, ser de fácil apresentação em forma de árvore, considerando-se que as características apresentadas por esta técnica são aplicáveis para o estudo em questão, decidiu-se utilizá-la para a tomada de decisão.

De acordo com as etapas descritas no processo de descoberta do conhecimento KDD, adotou-se neste estudo o mesmo modelo de desenvolvimento.

- A etapa de Seleção

Os dados oriundos das medições foram coletados utilizando os analisadores de qualidade da energia elétrica (QEE) fornecida pela subestação para as linhas de produção de uma indústria do PIM, objeto deste estudo. Utilizou-se para este

experimento cinco (5) analisadores de QEE para monitorar quatro (4) pontos nas saídas de energia elétrica, no chão de fábrica, e mais um (1) ponto monitorado no transformador que alimenta a subestação da indústria conforme exibe a Fig. 2.

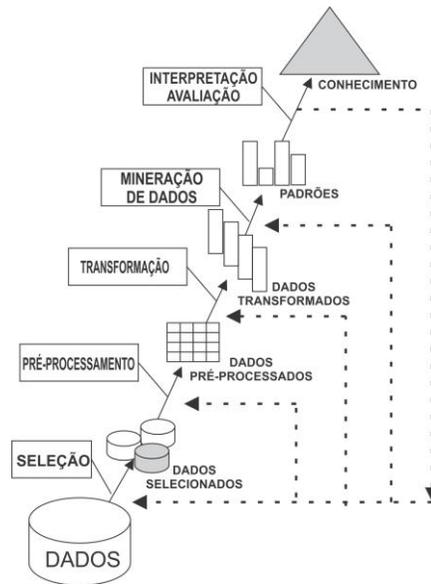


Figura 1. Processo de descoberta de conhecimento em bases de dado, (Adaptada de Fayyad et al., 1996)

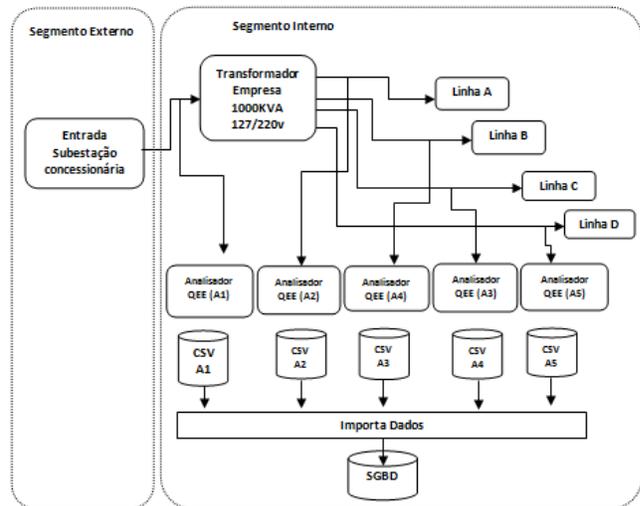


Figura 1. Modelo Conceitual do processo de Extração de dados

A massa de dados capturada pelos analisadores foi obtida no formato de texto, do tipo CSV (*comma-separated values*). Ao gerar os arquivos do tipo CSV, os dados inseridos neste arquivo são importados para um Sistema Gerenciador de Banco de Dados – SGBD, utilizando a ferramenta de importação de dados do Postgres [18], e por fim, armazená-los em tabelas respectivamente a cada característica de modelo de dados. A

exemplo disto, os dados referentes à Fase A, foram coletados e armazenado na coluna *thd_fase_a_entrada*, do total de distorção Harmônica de tensão como demonstra a Tabela III.

Tabela III. Dados na base (sgbd)

Data coleta	hora	Thd_fase_a_entrada	H3_i_burning	H5_i_burning	H7_i_burning
2014-06-03	13:46:00	2.16	0.0750	0.0319	0.0312
2014-06-03	13:47:00	2.24	0.0743	0.0317	0.0310
2014-06-03	13:48:00	2.27	0.0749	0.0321	0.0314

As variáveis analisadas, pertinentes às harmônicas de corrente, são de ordem 3°, 5°, 7°, 9° e 11° no ambiente fabril; e na entrada do transformador selecionou-se a Distorção Harmônica Total de tensão (*Total Harmonic Distortion*) THDv em percentual[1]. As harmônicas causadoras dos maiores impactos nas redes elétricas são de ordem 3°, 5° e 7°.

As outras variáveis que compõem este estudo representam: os turnos (representando os diversos turnos em que o ambiente fabril está em atividade e suas respectivas folgas) e o momento de cada registro realizado pelos analisadores de QEE (data e hora da ocorrência).

- A etapa de Pré-processamento

Depois da coleta dos dados na etapa de Seleção, os resultados obtidos deste processo são submetidos a fase Pré-processamento onde são realizados os processos de filtragens, para eliminação de dados redundantes, inconsistentes e recuperação de dados incompletos, nesta etapa também são utilizados métodos de redução e transformação para diminuir a quantidade de variáveis, visando com isto melhorar o desempenho do algoritmo que será utilizado na análise. Nessa fase executou-se a discretização dos dados contínuos, com objetivo de transforma-los em intervalos ou conjuntos de dados menores e mais fáceis de serem analisados. O filtro executado foi de discretização não supervisionada com Cinco (5) faixas por equalização dos dados por frequência para todos os atributos analisados.

- A etapa de Transformação dos dados

Após os processos de aquisição, limpeza, filtragens os dados são transformados em formatos utilizáveis, navegáveis. Pelo processo de aprendizagem de acordo com o algoritmo escolhido na fase seguinte.

- A etapa de Mineração de dados (Dataming)

Através do emprego da técnica de classificação por árvore de decisão será possível gerar conhecimentos para auxiliar na tomada de decisão sobre as análises das harmônicas que estão causando maiores impactos na rede elétrica da indústria.

A tabela IV demonstra o conhecimento originado pela aplicação da técnica de árvore de decisão sobre uma base de dados, empregando o algoritmo C4. 5 [14] que em alguns softwares de Inteligência Computacional é conhecido por J48. Os resultados apresentados foram implementado no software de mineração de dados WEKA [19].

Tabela IV. Dados algoritmo j48 no WEKA

Dados Analisados	Resultados Obtidos
Instâncias corretamente classificados	2747 com 90.6601%
Instâncias incorretamente classificados	283 com 9.3399%
Estatística Kappa	0,8832
A média de erro absoluto	0,0595
K & B Informação Relativa Pontuação	260664.6525%
K & B Informações Pontuação	6051.977 bits 1,9974 bits / exemplo
Complexidade da Classe ordem 0	7034.8954 bits 2,3217 bits / instância
Complexidade da Classe esquema	1109.2512 bits 0,3661 bits / instância
Melhoria Complexidade (sf)	5925.6442 bits 1,9557 bits / instância
Raiz do erro médio quadrado	0,1725
Erro Relativo absoluto	18,599%
Raiz relativa erro quadrado	43,126%
Cobertura dos casos (0,95 nível)	99,571%
Rel. média. Tamanho da região (0,95 nível)	31,7624%
Número total de instâncias	3030

Os softwares de inteligência computacional utilizados na mineração dos dados e nas análises e tomada de decisões foram WEKA 3.7[19] e RapidMiner 5[20].

- Interpretação e Avaliação

Após a identificação dos padrões, o sistema interpreta os dados resultantes do processo do KDD, transforma-os em conhecimento que por sua vez darão suporte a tomada de decisões, muitas decisões são tomadas a partir do conhecimento do especialista.

3 INDÚSTRIA DE MANUFATURA DE PRODUTOS ELETRO-ELETRONICOS (COMPUTADORES) - ESTUDO DE CASO

O referido trabalho foi desenvolvido a partir da coleta de dados em uma Indústria de manufatura de produtos eletroeletrônicos instalada no Polo Industrial de Manaus - PIM.

Com a parceria firmada com a Indústria de Produtos Manufaturados que possuía objetivos de anteciparem-se à nova legislação que irá avaliar os impactos das correntes harmônicas oriundas das indústrias e também o de melhorar os seus indicadores de qualidade de energia, foram feitas as coletas dos dados.

A característica principal é que a fábrica em análise monta computadores pessoais, monitores de computadores, notebooks e tablets. Produtos estes que são geradores de distorções harmônicas.

Durante a coleta dos dados, a fábrica trabalhava em 2 turnos de segunda a sexta, sendo o primeiro turno de 06:00 às 15:48 e segundo de 16:00 às 01:30. Durante esse período a mesma estava produzindo notebooks e tablets.

Foram escolhidos para a coleta de dados os seguintes pontos: saída do quadro de alimentação (220/127V), circuito que alimenta as centrais de ar condicionado, circuito que alimenta a sala de compressores, circuito que alimenta a linha de teste de notebook, com aproximadamente 900 notebooks ligados simultaneamente, circuito que alimenta a sala de montagem de tablets, com aproximadamente 140 tablets ligados simultaneamente.

Nestes pontos, foram instalados 5 medidores de qualidade de energia HIOKI PW3198, conforme está evidenciado na Figura 3.



Figura 3. Pontos de Instalações dos Medidores de Qualidade Energia Elétrica

As Tabelas V, VI, VII, VIII e IX descrevem os detalhes dos quadros de alimentação e as características técnicas e de geração de harmônicas de cada circuito, os tipos de cargas, bem como, Os detalhes dos períodos que permaneceram alimentados.

Tabela V. Quadro Geral da Subestação:

Saída do Transformador de 1000kVA 220/127V, Alimenta a planta da Empresa Disjuntor Trifásico 3200A.		
Cargas		
Origem	TDHi	Harmônicas
Fonte Chaveada	> 93%	3(78%), 5(44%), 7(17%)...15
Inversores de frequência	> 100%	5(81%),7(74%),11(42%),13(30%),17 e 19
UPS	> 30%	5 (28%), 7 (5%), 11(6%) e 13 (6%)
Lâmpadas Fluorescente	> 50%	3, 5, 9 e 11

Tabela VI. Centrais de ar-condicionado

Cargas	04 Centrais de Ar-condicionado. Cada Central funciona com 2 compressores de 15TR (52,75 kW)
Características Harmônicas	Circuito de Carga Linear com baixo impacto na distorção harmônica
Comentários sobre o funcionamento	São ligados entre 05:30 até 01:30 de segunda a sexta.

Tabela VII. Linha burning test

Cargas	Em torno de 500 notebook de 65W cada bifásico Especificação da fonte chaveada de 65W informa: Corrente de Carga Nominal: 3,42 A Potência de Saída Nominal : 65W Regulação de Saída Total: +/- 5% Regulação de Linha: +- 3% Ripple: 200mV (pico a pico) Ruído: 380mV (pico a pico) THD, V < 2%
Características as Harmônicas	Carga oriunda de Fonte Chaveada. THDi > 93%. Harmônicas: 3 (78%), 5 (44%), 7 (17%) ... 15 A linha estava ligada em UPS de 80kVA e cuja característica é: TDHi > 30% Harmônicas: 5 (28%), 7 (5%), 11(6%) e 13 (6%)
Comentários sobre o funcionamento	Cada notebook fica ligado por 1 hora e é substituído por outro. No período de 01:30 às 06:00 ficam ligados os notebook do dia anterior. Durante o final de semana os notebooks ficam ligados na rede elétrica. Todos os notebooks são alimentados por um No-Break (UPS) de 80kVA.

Ed. 001. VOL 001 – ISSN 2447-0228 (online)

Tabela VIII. Produção De Tablets

Cargas	10 Impressoras Laser com 57,96W cada 4 Balanças Eletrônicas com 15W cada 10 parafusadeiras elétricas com motor de 40W cada 11 switch de rede com 10,3 W cada 4 Monitores de LED com 45W cada 1 Computador DeskTop de 352W 1 Ferro de Soldar de 70W 3 Ionizador de Ar com 26,4 W cada 8 impressora de etiqueta com 110W cada 17 notebooks com 65W cada 25 lâmpadas LED com 20W cada 12 dispensador eletrônico de parafusos com 6W cada Em torno de 140 tablet ligados em teste com 10W cada
Características Harmônicas	A maioria das cargas são oriundas de Fonte Chaveada. THDi > 93%. Harmônicas: 3 (78%), 5 (44%), 7 (17%) ... 15 Existindo também as parafusadeiras elétricas com as seguintes características harmônicas: THDi > 100%. Harmônicas: 5 (81%), 7 (74%), 11 (42%), 13 (30%), 17 e 19 A linha estava ligada em UPS de 80kVA e cuja característica é: TDHi > 30% Harmônicas: 5 (28%), 7 (5%), 11(6%) e 13 (6%)
Comentários sobre o funcionamento	A Sala funciona de 06:00 às 01:30 do dia seguinte de segunda a sexta, onde os equipamentos da linha são desligados. No período de 01:30 a 06:00 ficam alguns tablets ligados. Todos os equipamentos e tablets são alimentados por um No-Break (UPS) de 80kVA.

Tabela IX. Compressores e Bombas

Cargas	1 Compressor de 75 CV (55,93 kW) 1 Bomba de Recalque de 25 CV(18,64 kW) 1 Bomba de Torre de 25 CV (18,64 kW)
Características Harmônicas	Circuito de Carga Linear com baixo impacto na distorção harmônica
Comentários sobre o funcionamento	São ligados entre 05:30 até 01:30 de segunda a sexta.

4 ANÁLISE DOS DADOS

No presente estudo, buscou-se avaliar como as correntes harmônica de ordem 3, 5, 7, 9 e 11 provenientes dos processos da

indústria analisada: burning, tablets, compressor e centrais de ar, influenciam na taxa de distorção harmônica total de tensão (THDv) da subestação de entrada da indústria. Para tal, construiu-se, por meio do algoritmo C4.5, uma árvore de decisão que relaciona as correntes harmônicas de ordem 3, 5, 7, 9 e 11 com o THDv do secundário do transformador de entrada da subestação da indústria, cujo nível de tensão é 220 V.

A árvore de decisão criada apresentou como nó raiz a corrente do 7º harmônico do processo de tablets, o que indica que essa corrente harmônica apresenta uma correlação linear significativa com o THDv da entrada da indústria. Em virtude da árvore de decisão criada pelo software de mineração de dados ser bastante grande, escolheu-se três sub-árvores que são capazes de generalizar o conhecimento adquirido com o uso da técnica empregada na avaliação dos dados.

Analisando a sub-árvore 1, Fig. 5, pode-se observar que, tanto no segundo turno quanto no intervalo da madrugada, o valor THDv se manterá entre 2,705 e 3,085% se a corrente do 7º harmônico se mantiver entre 3,75 e 4,85%, ou seja, praticamente somente a corrente do 7º harmônico do processo de tablets seria o suficiente para obter o valor do THDv, porém o mesmo não aumentaria para valores acima de 4,85% ou diminuiria para valores abaixo de 3,75%.

Durante o 1º turno, se a corrente do 7º harmônico do processo de tablets estiver, entre 3,75 e 4,85%, o valor do THDv de tensão dependerá do dia da semana, e da corrente do 3º harmônico do processo de tablets ou do 5º harmônico do processo centrais de ar.

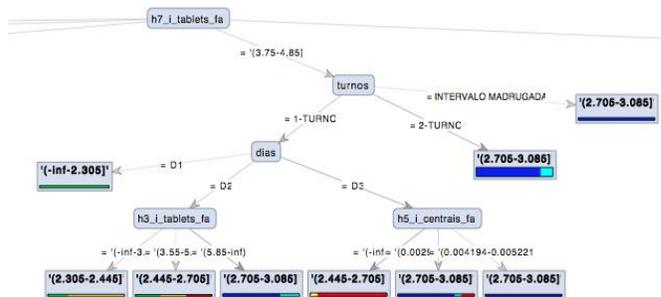


Figura 4. Sub árvore 1 (fase A)

Analisando a sub-árvore 2 Fig. 6, pode-se observar que, caso o valor da corrente do 7º harmônico do processo de tablets apresente um valor entre 3,35 e 3,75 %, durante o primeiro turno, o valor do THDv no secundário do transformador de entrada da industria dependerá do dia da semana e da corrente do 7º harmônico do processo centrais de ar. No entanto, durante o

segundo turno, o THDv dependerá da corrente do 7º harmônico do processo centrais de ar e da corrente do 5º harmônico do processo compressor. Além disso, deve-se notar que nessa sub-árvore, o mínimo e máximo valor que o THDv atingirá é 2,305% e 3,085%, respectivamente.

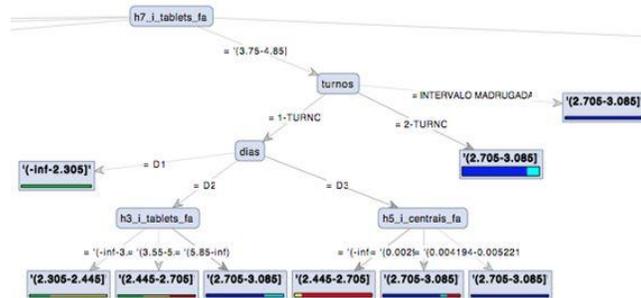


Figura 5. Sub Árvore 2 (fase A)

Analisando a sub-árvore 3, Fig. 7, pode-se verificar que, se a corrente do 7º harmônico do processo de tablets for maior que 4,85% e a corrente do 5º harmônico do processo de tablets for maior que 3,05%, o THDv apresentara um valor igual ou maior que 3,085%. Logo, o aumento do THDv no secundário do transformador de entrada da subestação da industria está fortemente relacionado com o aumento das correntes do 7º e 5º harmônicos, conforme pode ser visualizado na Fig. 3. Além disso, caso a corrente do 5º harmônico do processo de tablets se mantiver entre 1,65 e 3,05%, a corrente do 5º e 7º harmônico do processo de burning propiciarão o aumento do THDv para níveis acima de 3,085%.

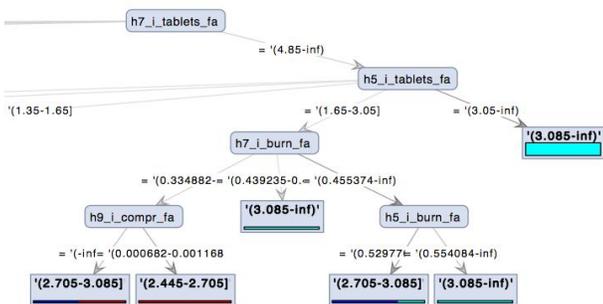


Figura 6. Sub Árvore 3 (fase A)

5 CONCLUSÃO

Considerando os aspectos analisados no experimento entende-se que a aplicação da técnica de árvore de decisão resultou que os impactos mais significativos foram detectados nas harmônicas de 5ª e 7ª ordem devido às características do processo desenvolvido pela linha de tablets que apresentou a 7ª harmônica sendo a de

maior impacto de distorções no processo fabril da indústria. De acordo o PRODIST [9] no módulo 8, e a norma IEEE[21], que regulamentam os níveis mínimos e máximos de distorções harmônicas nas redes elétricas, a 7ª harmônica da linha de tablets apresentou os níveis mais elevados de distorções harmônicas em vários períodos e datas diferentes no decorrer da execução do seu processo. Os demais processos da indústria tiveram uma baixa geração ou quase nenhuma geração de impactos de harmônicos na rede elétrica.

6 AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Pará - UFPA, ao Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia – ITEGAM e ao Instituto de Tecnologia José Rocha Sérgio Cardoso – ITJC, Instituto Certi da Amazônia – ICA. Eletrobrás Amazonas Energia pelo apoio à pesquisa.

7 REFERÊNCIAS

- [1] M.E.L. Tostes, “Avaliação dos impactos causados pela geração de harmônicos na rede de distribuição em Consumidores em baixa tensão”. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará (ITEC-UFPA). 2003.
- [2] C.F. Nascimento, A.A. Oliveira Jr., A. Goedel, P.J.A. Serni, **Harmonic identification using parallel neural networks in single-phase systems**, Applied Soft Computing 11 (2) (2011) 2178–2185.
- [3] A. Ferrero, Measuring electric power quality: problems and perspectives, Measurement 41 (2) (2008) 121–129.
- [4] T. Tarasiuk, **Estimator-analyzer of power quality. Part I. Methods and algorithms**, Measurement 44 (1) (2011) 238–247.
- [5] S. Vlahinic, D. Brnobic, N. Stojkovic, **Indices for harmonic distortion monitoring of power distribution systems**, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 58 (5) (2009) 1771–1777.
- [6] ANEEL. Módulo 8 – **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. 2010.
- [7] ANEEL. **Nota Técnica, nº 0083 /2012-SRD/ANEEL**, de 12 Junho 2012. Processo: 48500.002798/2012-61.

- [8] R. Dugan, M. McGranaghan, H. Wayne, “**Electrical Power Systems Quality**”, 265 pp., McGraw-Hill, New York, USA. 1999.
- [9] IEEE Task Force on Effects of Harmonics on Equipment: “**Effects of Harmonics on Equipment**”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 8, n.º 2, pp. 672-680, April 1993.
- [10] UIE, “**Types of Disturbances and Relevant Standards, Guide to Quality of Electrical Supply for Industrial Installations**”, “Power Quality” Working Group WG2, 1996.
- [11] Quinlan, J. R. C4.5: **Programs for Machine Learning**. Morgan Kaufmann Publishers, 1993.
- [12] FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIRO, G.; SMYTH, P. **From data mining to knowledge discovery in databases**. AI magazine, [s.l.], v. 17, p. 37-54. 1996.
- [13] Data mining techniques and applications – **A decade review from 2000 to 2011**. Review Article Expert Systems with Applications, Volume 39, Issue 12, 15 September 2012, Pages 11303-11311 Shu-Hsien Liao, Pei-Hui Chu, Pei-Yuan Hsiao.
- [14] NEVES, R. de C. D. **Pré-processamento no processo de descoberta de conhecimento em banco de dados**. 2003. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Computação) - Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- [15] Data mining techniques and applications – **A decade review from 2000 to 2011**. Review Article Expert Systems with Applications, Volume 39, Issue 12, 15 September 2012, Pages 11303-11311 Shu-Hsien Liao, Pei-Hui Chu, Pei-Yuan Hsiao
- [16] Knowledge representation and acquisition approach based on decision tree Jianshe Bai ; Bo Fan ; Junyi Xue; **Natural Language Processing and Knowledge Engineering**, 2003. Proceedings. 2003 International Conference on DOI: 10.1109/NLPKE.2003.1275962 Publication Year: 2003 , Page(s): 533 - 538
- [17] CARVALHO, L, A. V. de. **Datamining: a mineração de dados no Marketing**, Medicina, Economia, Engenharia e Administração. São Paulo: Ciência Moderna,2006.
- [18] PostgreSQL: **The world's most advanced open source** **The PostgreSQL Global Development Group is pleased to announce the availability of PostgreSQL 9.4 Beta 2**, the second beta release of the upcoming 9.4. Disponível em:< www.postgresql.org/> Acesso em: 07 Julho 2014.
- [19] UNIVERSITY OF WAIKATO. Weka 3 – **Machine Learning Software in Java**. Disponível no site da University of Waikato (2010). URL: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>.
- [20] Rapid Miner. **Provides software, solutions, and services in the field of advanced analytics, including predictive analytics, data mining, and text mining**. URL: <http://http://rapidminer.com/>
- [21] IEEE Std. 519-1992. **IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems**. 1992.