



–Universidade Regional do Cariri

Centro de Ciências e Tecnologia

Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO

FORUM PERMANENTE: HIDROGENIO VERDE E A SUSTENTABILIDADE DO PLANETA

Prof.Dr.Rodolfo José Sabiá,
Doutor em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental/ Pós Doutor em
Decision macking-unesp 2015

Juazeiro do Norte, Ceará. Janeiro de 2025

IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

Título: Fórum Permanente: Hidrogênio Verde e a Sustentabilidade do Planeta

Nome do Coordenador: Professor Dr. Rodolfo José Sabiá

Departamento: Departamento de Engenharia de Produção

Área: Meio Ambiente

Local e data: Juazeiro do Norte 16 de janeiro de 2025

Linha Temática: Meio Ambiente e Recursos Naturais

Critérios para a seleção do bolsista de extensão tecnológica para

graduados: Deve ser engenheiro de produção ou Tecnólogo da Construção Civil, tendo experiência comprovada junto ao Laboratório de Águas, Efluentes e Metais Pesados (LAEMP) da URCA

INTRODUÇÃO

O estado do Ceará inserido na região do semiárido brasileiro, atualmente é referência na gestão de recursos hídricos, pois há décadas, criou políticas e convivência com a seca, que é um fenômeno periódico típico desta região. A carência hídrica dessa região cresce a cada ano, em virtude do crescimento da população e da urbanização, além das alterações climáticas, que levam à escassez hídrica em virtude do uso e ocupação inadequados do solo, possibilitando assim, o aumento na competição por água entre a agricultura, indústrias e cidades. A dinâmica econômica do estado do Ceará define aspectos relacionados à utilização dos recursos naturais. Assim, é necessário avaliar a gestão dos recursos hídricos para o desenvolvimento sustentável de regiões semiáridas. A água deve contemplar primordialmente o abastecimento humano, porém sabe-se que a maior parte de água em uma sociedade é consumida pela agricultura. Desde os primórdios, a sociedade tem a água como um fator característico de sua bacia hidrográfica, no entanto, hoje estuda-se a influência de água das bacias nacionais e internacionais para o desenvolvimento de outras bacias, principalmente associado à água embutida nos processos produtivos. Desta forma, a água virtual importada ou exportada assume um papel de destaque para gestão de recursos hídricos, sendo necessário criar políticas que contabilizem a pegada hídrica e água virtual dos produtos importados e exportados associado a produção do hidrogênio verde, fornecendo um valor ambiental, social e econômico da água, pois se pensarmos que qualquer produto pode ser importado ou exportado por qualquer estado sem que o mesmo tenha que servir apenas a essas comunidades, entende-se que a logística e o preço do produto determinam quem vai os consumir e ainda não se valoriza a água nessa tributação. A partir dessa perspectiva sobre o gerenciamento dos recursos hídricos, todas as atividades nas quais a água esteja envolvida passam a exigir uma nova contextualização. Assim surge o conceito de água virtual, como um modo de

calcular a água envolvida nos processos produtivos. Nesse contexto, faz-se necessário a mensuração da quantidade de recursos hídricos por indivíduos, setores e atividades produtivas, para uma gestão eficiente e sustentável desse recurso. Com isso surge também outro termo muito relevante, o conceito de pegada hídrica, que representa um indicador da utilização da água, que analisa o uso de forma direta e indireta por um consumidor ou produtor.

1. INTRODUÇÃO Em muitos momentos da vida, se deparar com escolhas e ter de alguma forma que decidir qual é a melhor opção para determinadas ocasiões, é algo diário. Hidrogênio como fonte alternativa de combustível durante anos, o mundo manuseia energia de recursos não renováveis como o petróleo, mas não é apenas o fato de que esses recursos podem estar esgotados que é preocupante. Atualmente, o foco global está no aquecimento global e na busca por fontes de energia mais limpas (SILVA e CARMO,2017). Com as crescentes demandas energéticas do mundo, o consumo de combustíveis fósseis e diversas preocupações ambientais associadas ao uso de tais produtos, há uma busca constante por novas fontes de energia renováveis menos poluentes. Tendo em conta as preocupações ambientais, assegurar a produção de energia tem-se consolidado como um dos desafios atuais. Nos últimos anos, tem ocorrido uma crescente discussão sobre o efeito estufa, na tentativa de encontrar novas formas de energia limpa. É nessa conjuntura que a produção de hidrogênio parece ser uma alternativa interessante. Dentre as alternativas estudadas, o hidrogênio tem ganhado destaque, sendo considerado por muitos como o combustível do futuro, principalmente pelo fato de liberar apenas água em sua combustão (SILVA et al.,2016). As pesquisas com hidrogênio têm se concentrado na geração de eletricidade, calor e água pura por meio de células a combustível, dispositivo que converte energia química em eletricidade sem causar danos ao meio ambiente (DA SILVA et al., 2016). O hidrogênio não é uma fonte de energia primária, ele ocupa o lugar de um veículo energético, um transportador de energia que não existe na atmosfera de forma livre e precisa ser produzido, transportado e armazenado antes de poder ser utilizado. Soluções de tecnologia de manuseio eficientes, econômicas e seguras (BRAGA, 2014). O hidrogênio pode produzir diferentes tipos de emissões por meio de diferentes

processos, com diferentes consequências de custo e requisitos de materiais, dependendo da tecnologia e da energia utilizada. Para classificar os tipos de hidrogênio, é necessário definir vários conceitos. Neste sentido, a Comissão Europeia (2020) define os seguintes conceitos utilizados na classificação do hidrogênio em termos de sustentabilidade dos seus processos de produção:

- Hidrogênio de eletricidade refere-se ao hidrogênio produzido por eletrólise da água.
- O hidrogênio renovável é produzido pela eletrólise da água (em um eletrolisador movido a eletricidade) de fontes renováveis.
- Hidrogênio limpo equivalente ao hidrogênio renovável;
- Hidrogênio combustível fóssil refere-se ao hidrogênio produzido em uma variedade de processos usando combustíveis fósseis como matéria-prima, principalmente reforma de gás natural ou gaseificação de carvão;
- O hidrogênio combustível fóssil com captura de carbono é uma subparte do hidrogênio combustível fóssil na qual são capturados os gases de efeito estufa emitidos pelo processo de produção do hidrogênio;
- Hidrogênio de baixo carbono inclui hidrogênio de base fóssil com captura de carbono e hidrogênio de base elétrica que reduz significativamente as emissões de GEE do ciclo de vida em comparação com a produção de hidrogênio existente;
- Combustíveis de hidrogênio sintético referem-se a vários combustíveis gasosos e líquidos baseados em hidrogênio e carbono; Os tipos de hidrogênio mais mencionados nesta classificação são:
 - Hidrogênio marrom, produzido a partir de carvão sem captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS);
 - Hidrogênio cinza, produzido a partir de combustíveis fósseis (principalmente gás natural) sem CCUS;
 - Hidrogênio azul, produzido a partir de fontes fósseis, principalmente gás natural, mas utilizando CCUS;

- Hidrogênio verde (hidrogênio renovável), a eletricidade gerada por eletrólise vem de fontes de energia renováveis, como solar, eólica, hídrica, geotérmica, maremotriz etc.

O hidrogênio verde é um dos muitos recursos que ajudam a mitigar e combater as mudanças climáticas, que continuam aumentando ano após ano devido à degradação da camada de ozônio causada pelos gases produzidos pelos combustíveis fósseis (MONTEIRO, 2021). O hidrogênio verde (H₂) é obtido pela eletrólise da água, com eletrolisadores alimentados por fontes de energia renovável, como solar e eólica. A energia renovável é um componente-chave da viabilidade de projetos de hidrogênio verde à medida que os preços de implementação se tornam cada vez mais baixos. O hidrogênio puro está presente em quantidades muito pequenas na Terra, mas pode ser encontrado adicionado a outros elementos, como água e gás natural, que são mais comumente usados para produzir hidrogênio. Para obter moléculas de H₂, podemos usar uma variedade de métodos, divididos principalmente em dois métodos: métodos convencionais e métodos incluindo energia renovável. Para obter o hidrogênio verde, a forma mais comum é por meio da eletrólise da água, onde a energia para realizar a mesma operação vem de fontes renováveis, principalmente fotovoltaicas, devido principalmente a instalação próxima ao do sistema de hidrogênio implantado. Simplificando, o efeito fotovoltaico é o surgimento de uma corrente na estrutura de um material semicondutor quando exposto a partículas de energia de radiação eletromagnética. Os painéis solares são compostos por dezenas de células feitas de materiais semicondutores, sendo o silício mais comum. Quando a luz do sol incide no painel, os fótons energizam os elétrons nos átomos das células solares, fazendo com que eles percorram as camadas do aparelho e criem corrente elétrica contínua que chamamos de energia solar. O gás hidrogênio pode ser obtido a partir da eletrólise da água, que é um processo simples que usa eletricidade direta para decompor a água em suas partes constituintes (hidrogênio e oxigênio). A pureza do gás hidrogênio pode ser de até 99,999% em volume, dependendo de como o gás é seco e quaisquer outras impurezas são eliminadas (URSÚA et al., 2012). A energia solar é utilizada na eletrólise da água, sem necessidade de fontes externas de energia. A placa fotovoltaica

pode ser ligada diretamente ao sistema eletrolítico, pois há bastante energia solar no país, e é um processo viável. (PALHARES, 2016). Em termos práticos, a eletrólise é um processo que injeta corrente contínua (CC) numa substância (eletrólito) por meio de um ânodo e um cátodo. No ânodo irá ocorrer uma oxidação, perdendo elétrons e no cátodo acontece um ganho de elétrons, ocorrendo assim uma redução. Na eletrólise da água ocorre a separação da molécula da água (H₂O) em oxigênio e hidrogênio (CARDOSO, 2022). Em termos da tecnologia de eletrólise existem de momento três tipos mais utilizados, eletrolisadores alcalinos, eletrolisadores de membrana de troca de prótons (PEM) e eletrolisadores de óxidos sólidos (SOEC). No entanto, apenas os eletrolisadores alcalinos têm vindo a ter uma utilização mais comum neste meio devido ao custo-benefício da tecnologia, pois os alcalinos são os menos eficientes dos três sendo, no entanto, os mais baratos e os que têm mais vida útil. A eficiência deste tipo de equipamento não é alta, rondando os 50 a 65%. Relativamente aos outros dois tipos de eletrolisadores, são tecnologias ainda em estudo principalmente a SOEC, que das três será a mais eficiente eletricamente, mas que ainda está em desenvolvimento. Os eletrolisadores PEM por outro lado já são utilizados sendo mais eficientes que os alcalinos e menos eficientes que os SOEC, no entanto possuem um custo mais elevado e um tempo de vida útil menor que os alcalinos (CARDOSO, 2022).

JUSTIFICATIVA

A carência de intercâmbio entre as experiências sustentáveis com sucesso na área de Hidrogênio Verde é notória, pois hoje as premissas para a produção de combustível são puramente baseadas nos recursos naturais fósseis, não obstante novos estudos e resultados precisam ser socializados, com a população do combustível sustentável, as lideranças e outras experiências gerando um Fórum permanente de discussões e reflexões sobre as práticas adotadas o que é mera Utopia, o que já foi comprovado e o que pode ser desenvolvido na produção de Hidrogênio Verde para garantir viabilidade econômica, ecologicamente correta e ganhos sócio econômicos e ambientais para empresas e cidadãos. Sendo um processo participativo e democrático, mobilizando a academia, empresas e a sociedade, só assim seremos capazes de mudar.

OBJETIVO

O projeto visa o intercâmbio de informações das experiências e estudos para o desenvolvimento do Hidrogênio Verde, entre o corpo acadêmico da Universidade Regional do Cariri, população da região metropolitana do Cariri, lideranças do poder público e privado, e internautas em todo o planeta.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

01 – Investigar e compartilhar boas práticas e experiências bem-sucedidas de implementação de soluções relacionadas à produção de hidrogênio verde em cidades de diferentes continentes.

02 – Promover a disseminação de conhecimento sobre as mais recentes tecnologias e melhores práticas utilizadas em várias cidades ao redor do mundo para produção, armazenamento e transporte de hidrogênio verde.

03 – Avaliar e analisar os impactos sociais, econômicos e ambientais das soluções adotadas em diferentes cidades, visando identificar lições aprendidas e orientar decisões futuras.

04 – Fomentar a conscientização ambiental e promover a adoção de hábitos de consumo ecologicamente corretos por meio de atividades educativas e informativas.

05 – Mobilizar a academia, a comunidade e as lideranças da Região Metropolitana do Cariri para participar ativamente da identificação e priorização das ações necessárias para impulsionar a produção de hidrogênio verde na região.

06 – Estabelecer um fórum de discussão contínua que reúna representantes de diversas cidades do mundo para compartilhar experiências, debater tecnologias e promover padrões relacionados ao hidrogênio verde.

METODOLOGIA

Serão criadas redes sociais e plataforma do fórum: Hidrogênio Verde e a sustentabilidade do planeta, implantada no site da Universidade Regional do Cariri e coordenada pelo Prof. Dr. Rodolfo José Sabiá serão treinados bolsistas para alimentar informações, fórum de debates, cursos online e uma ampla videoteca, onde os internautas interessados poderão se cadastrar para enviar

vídeos, documentos, opiniões e sugestões, criando um fórum permanente de discussão sobre as tecnologias adotadas nas várias experiências em cidades pelo mundo e os reflexos na vida e no bem estar da população.

O bolsista vinculado a esse projeto terá a missão de alimentar a plataforma, criando condições favoráveis para disseminação da informação principalmente dentro da comunidade acadêmica, população da Região Metropolitana do Cariri e lideranças estaduais e regionais.

Outrossim o bolsista proporá e organizará cursos online a fim de propiciar capacitações nas diferentes áreas pois o tema em discussão é transversal e incorpora várias vertentes.

Serão realizados ciclos de debates sobre cada linha temática definida no fórum Hidrogênio Verde e a Sustentabilidade do Planeta.

Ao final será realizado o fórum presencial: com a apresentação de várias experiências discutidas ao longo do desenvolvimento da plataforma, bem como, uma feira onde a academia e o povo do Cariri participem de um processo, mostrando a possibilidade de incorporação de diversos processos produtivos, dando lhes valor econômico, gerando bem estar social com uma visão ecologicamente correta.

Compostagem de Resíduos Sólidos Orgânicos



Fórum



Informar alguma descrição desse item apenas como conteúdo de teste

Fórum Resíduos

Cursos



Informar alguma descrição desse item apenas como conteúdo de teste

Acessar

Vídeos



Informar alguma descrição desse item apenas como conteúdo de teste

Ver vídeos

RESULTADOS ESPERADOS

1 – Identificar detalhadamente as características tecnológicas, físicas, químicas e energéticas do Hidrogênio Verde, visando determinar suas aplicações mais eficientes e promissoras.

2 - Realizar uma avaliação abrangente dos padrões e concentrações de metais pesados em diversas cidades ao redor do mundo, em diferentes países e continentes, visando entender e mitigar potenciais impactos ambientais.

3 - Identificar os principais fatores críticos de sucesso que influenciam na tomada de decisão para a adoção de novas tecnologias e padrões relacionados ao Hidrogênio Verde, com o objetivo de orientar estratégias futuras e garantir o sucesso na implementação.

4 - Investigar o nível de satisfação da população da região do Cariri, assim como da população das cidades que possuem experiências sustentáveis similares às abordadas na pesquisa, buscando compreender percepções, necessidades e oportunidades de melhoria para o desenvolvimento sustentável.

CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

ATIVIDADES	INÍCIO (MÊS)	TÉRMINO (MÊS)
Criação das Plataformas	01	01
Cadastramento dos internautas	02	12
Postagem das informações básicas das plataformas	02	12
Postagem dos vídeos bases para discussão	02	12
Atualização das postagens dos vídeos dos internautas	03	12
Enquetes sobre o tema de estudo	03	12
Chat online	03	12

Mobilização Social	03	12
Desenvolvimento de ciclos de debates	02	12
Preparação e Realização do Fórum presencial.:	03	12
Preparação e Realização da feira	03	12
Elaboração do relatório final	11	12

PLANO DE TRABALHO PARA CADA BOLSISTA

Bolsista:

<p>I. Treinamento para administração da plataforma : A partir da plataforma Moodle existente no site da Universidade Regional do Cariri, sobre a forma Forum de Resíduos e a sustentabilidade do Planeta o seu coordenador Professor Dr. Rodolfo José Sabiá, bem como técnicos da Universidade Regional do Cariri e convidados capacitarão os bolsistas para alimentar as plataformas bem como, estimular a participação dos internautas dando prioridade ao corpo acadêmico da Urca, população da região metropolitana do Cariri e lideranças regionais, estaduais e federais.</p>
<p>II. Estimular o Cadastramento dos internautas: Essa atividade visa acompanhar e estimular, passo a passo o cadastramento de todos os interessados dando suporte suficiente para a concretização do cadastramento de todos os internautas através de ferramentas de network.</p>
<p>III. Postagem das informações básicas da plataforma: Serão atualizadas diariamente as informações da plataforma, para que o internauta se sinta estimulado a contribuir com o processo de construção e discussão dos temas propostos.</p>
<p>IV. Postagem dos vídeos bases para discussão: Da mesma</p>

<p>forma serão recebidos os vídeos enviados pelos internautas analisados o seu conteúdo e posteriormente postados para que toda comunidade usufrua de tais informações.</p>
<p>V. Atualização da postagem dos vídeos dos internautas: Mensalmente serão atualizados a postagem dos vídeos obedecendo ao critério dos mais visualizados.</p>
<p>VI. Enquetes sobre o tema de estudo: Serão propostas enquetes criadas durante o fórum virtual para que os internautas dêem a sua opinião sobre os temas abordados.</p>
<p>VII. Chat online: Serão periodicamente criados chats online sobre cada tema abordado, visando criar um momento de discussão virtual onde se colocam todas as duvidas e interrogações e explicações no tocante as questões abordadas.</p>
<p>VIII. Mobilização Social: Será compilado dados de atores sociais dos diferentes setores da Região Metropolitana do Cariri e de lideranças regionais, estaduais e federais que serão informadas via postal internet sobre todos os passos desse projeto de extensão, visando um processo participativo e democrático.</p>
<p>IX. Desenvolvimento de ciclos de debates: A cada 15 dias serão realizados no auditório do CTT, ciclo de debates para que acadêmicos, professores e funcionários bem como qualquer interessado possam conhecer as experiências sustentáveis no país, discutindo suas vantagens e desvantagens.</p>
<p>X. Preparação e Realização do Fórum presencial: Hidrogênio Verde e a sustentabilidade do planeta</p>
<p>XI. Preparação e Realização da feira de Hidrogênio Verde</p>
<p>XII. Elaboração do relatório final</p>

Prof. Dr. Rodolfo José Sabiá
Professor Associado (O) URCA

Pós doutor em Engenharia (UNESP)

(88) 99627-6267 (TIM)

REFERÊNCIAS

Altafini CR, Wander PR, Barreto RM. Prediction of the working parameters of a wood waste gasifier through an equilibrium model. *Energy Conversion and Management* 2003;44:2763e77.

Bautista, J., Pereira, J., 2006. Modeling the problem of locating collection areas for urban waste management. An application to the metropolitan area of Barcelona. *Omega e International Journal of Management Science* 34 (6), 617e629.

BRASIL Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, publicada no DOU 03 de agosto de 2010.

BRASIL RESOLUÇÃO CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005, Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Publicada no DOU nº 84, de 4 de maio de 2005, Seção 1, páginas 63-65.

BRITO, Marisa de Paula B. P. *Managing Reverse Logistics or Reversing Logistics Management*. Rotterdam, edit. Erasmus University Rotterdam, 2004.

Consonni S, Giugliano M, Grosso M. Alternative strategies for energy recovery from municipal waste. Part A: mass and energy balances. *Waste Management* 2005;25:123e35.

Corbett C. and Kleindrofer P.R.. Introduction to the Special Issue to the *Environmental Management and Operation* (Part 1: Manufacturing and Eco-logistics). *Journal of Production and Operations Management* 2001a;10(2):107-112.

Efendigil T, Önüt S, Kongar E. A holistic approach for selecting a third-party reverse logistics provider in the presence of vagueness. *Computers and Industrial Engineering* 2008; 54:269–87.

ERIKSSON, O.; CARLSSON REICH, M.; FROSTELL, B.; BJÖRKLUND, A.; ASSEFA, G.; SUNDQVISTB, J. -O.; GRANATH, J. , BAKY, A., THYSELIUSD, L. *Municipal Solid Waste Management from a Systems Perspective, Resources, Conservation and Recycling*, 2002.

Ferrer G, Whybark C. From garbage to goods: successful remanufacturing systems and skills. *Business Horizons* 2000;43(6):55–64.

Fleischmann M, Bloemhof-Ruwaard JM, Buellens P, Dekker R. Chapter 4: reverse logistics network design. In: Dekker R, Fleischmann M, Inderfurth K, Van Wassenhove LN, editors. *Reverse logistics quantitative models for closed-loop supply chains*. Berlin: Springer-Verlag; 2004.

G. Van Oost, M. Hrabovsky, V. Kopecky, M. Konrad, M. Hlina, A. Chumak, E. Beeckman, J. Verstraeten, *Pyrolysis of waste using a hybrid argon–water stabilized torch*, *Vacuum* 80 (2006) 1132–1137.

H. Nishikawa, M. Ibe, M. Tanaka, M. Ushio, T. Takemoto, K. Tanaka, N. Tanahashi, T. Ito, *Vacuum* 73 (2004) 589–593.

HARRISON, Alan; HOEK, RemkoVan. *Logistics Management and Strategy*. Harlow: Prentice Hall, 2005.

HERNÁNDEZ, C. T. *Modelo de gerenciamento da logística reversa integrado às questões estratégicas das organizações*. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2010, Guaratinguetá.

Horvath P, Autry C, Wilcox W. Liquidity implications of reverse logistics for retailers: a Markov chain approach. *Journal of Retailing* 2005;81(2):191–203.

Huang H, Tang L. Treatment of organic waste using thermal plasma pyrolysis technology. *Energy Conversion and Management* 2007;48:1331e7.

Huang H, Tang L. Treatment of organic waste using thermal plasma pyrolysis technology. *Energy Conversion and Management* 2007;48:1331e7.

Huang, G.H., Chang, N.B., 2003. The perspectives of environmental informatics and systems analysis. *Journal of Environmental Informatics* 1 (1), 1e7.

Kannan G, Haq A, Sasikumar P. An application of the analytical hierarchy process and fuzzy analytical hierarchy process in the selection of collecting centre location for the reverse logistics multicriteria decision-making supply chain model. *International Journal of Management and Decision Making* 2008;9(4):350–65.

LEITE, Paulo Roberto. *Logística Reversa - Meio Ambiente e Competitividade*. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

Lemmens B, Elslander H, Vanderreydt I, Peys K, Diels L. Assessment of plasma gasification of high caloric waste streams. *Waste Management* 2007;27:1562e9.

Linton J, Klassen R, Jayaraman V. Sustainable supply chains: an introduction. *Journal of Operations Management* 2007;25(6):1075–82.

M. Hlina, M. Hrabovsky, V. Kopecky, M. Konrad, T. Kavka, S. Skoblja, *Czech. J. Phys.* 56 (2) (2006) B1179–B1184.

M. Tendler, P. Rutberg, G. van Oost, Plasma based waste treatment and energy production, *Plasma Phys. Contr. F.* 47 (5A) (2005) A219–A230.

Minutillo M, Perna A, Di Bona D. Modelling and performance analysis of an integrated plasma gasification combined cycle (IPGCC) power plant. *Energy and Conversion Management* 2009;50:2837e42.

Mountouris A, Voutsas E, Tassios D. Solid waste plasma gasification: equilibrium model development and exergy analysis. *Energy Conversion and Management* 2006;47: 1723e37.

PARLAMENTO EUROPEU, DIRETIVA DO 76. Relativa à incineração de resíduos. 2000.

PIRES, Silvio R. I. Gestão da cadeia de suprimentos – conceitos, estratégias, práticas e casos. São Paulo: Atlas, 2004.

Pochampally KK, Gupta SM. A multiphase fuzzy logic approach to strategic planning of a reverse supply chain network. *IEEE Transactions on Electronic Packaging Manufacturing* 2008;31(1):72–82.

Pokharel, S., Mutha, A., 2009. Perspectives in reverse logistics: a review. *Resources, Conservation and Recycling* 53 (4), 175e182

Prallinski C, Kocabasoglu C. Empirical research opportunities in reverse supply chains. *Omega* 2006;34(6):519–32.

R. Kezelis, V. Mecius, V. Valinciute, V. Valincius, *High Temp. Mater.* 8 (2004) 273–282.

Tendero C, Tixier C, Tristant P, Desmaison J, Leprince P. Atmospheric pressure plasmas: a review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 2006;61:2e30.

Vaidyanathana A, Mulhollanda J, Ryua J, Stuart Smith M, Circeo LJ. Characterization of fuel gas products from the treatment of solid waste streams with a plasma arc torch. *Journal of Environmental Management* 2007;82:77e82.

Statement of Evidence; Particulate Emissions and Health; Proposed Ringaskiddy; Waste-to-Energy Facility; Professor C. Vyvyan Howard MB. ChB. PhD. FRCPATH.; June 2009