



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

JOÃO PAULO DE OLIVEIRA SANTOS

**ESTRATÉGIAS DE SUSTENTABILIDADE NA CADEIA PRODUTIVA
DA GIPSITA PERNAMBUCANA A PARTIR DO ESTUDO DAS
PEGADAS ECOLÓGICA, HÍDRICA E DE CARBONO**

RECIFE – PE

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

**ESTRATÉGIAS DE SUSTENTABILIDADE NA CADEIA PRODUTIVA
DA GIPSITA PERNAMBUCANA A PARTIR DO ESTUDO DAS
PEGADAS ECOLÓGICA, HÍDRICA E DE CARBONO**

JOÃO PAULO DE OLIVEIRA SANTOS

Orientadora: Profa. Dra. Soraya Giovanetti El-Deir

Co-orientador: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva

RECIFE – PE

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

JOÃO PAULO DE OLIVEIRA SANTOS

**ESTRATÉGIAS DE SUSTENTABILIDADE NA CADEIA PRODUTIVA
DA GIPSITA PERNAMBUCANA A PARTIR DO ESTUDO DAS
PEGADAS ECOLÓGICA, HÍDRICA E DE CARBONO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, Área de Concentração: Gestão Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientadora: Profa. Dra. Soraya Giovanetti El-Deir

Co-orientador: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva

RECIFE – PE

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S237e Santos, João Paulo de Oliveira
Estratégias de sustentabilidade na cadeia produtiva da gipsita pernambucana a partir do estudo das Pegadas Ecológica, Hídrica e de Carbono / João Paulo de Oliveira Santos. – Recife, 2019.
91 f.: il.

Orientador(a): Soraya Giovanetti El-Deir.
Coorientador(a): Thieres George Freire da Silva.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, BR-PE, 2019.
Inclui referências.

1. Desenvolvimento sustentável 2. Sustentabilidade 3. Indicadores ambientais 4. Impacto ambiental - Avaliação 5. Gesso 6. Meio ambiente - Política governamental I. El-Deir, Soraya Giovanetti, orient. II. Silva, Thieres George Freire da, coorient. III. Título

CDD 628

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

**ESTRATÉGIAS DE SUSTENTABILIDADE NA CADEIA PRODUTIVA
DA GIPSITA PERNAMBUCANA A PARTIR DO ESTUDO DAS
PEGADAS ECOLÓGICA, HÍDRICA E DE CARBONO**

João Paulo de Oliveira Santos

Aprovado em: ____ de _____ de 2019

Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto (PPEAMB/UFRPE)
Examinador Interno

Prof^ª. Dr. Ranyére Silva Nóbrega (UFPE)
Examinador Externo

Prof^ª. Dra. Soraya Giovanetti El-Deir (PPEAMB/UFRPE)
Orientadora

Prof. Dr. José Ramon Barros Cantalice (PPEAMB/UFRPE)
Coordenador

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, por ter me dado saúde e força para superar as adversidades que surgiram pelo caminho.

Aos meus pais José Cícero e Claudenice, por serem sempre a minha base e referência.

Ao meu irmão Jobson Bruno, pelo companheirismo e cumplicidade.

A toda minha família pela atenção, presteza e ensinamentos transmitidos.

A minha tia Elisângela, que me iniciou no mundo das letras e números, minha primeira Professora.

Aos amigos que construí em Dois Riachos, pessoas que levarei para o resto dos meus dias.

A Prof.^a Dr.^a Soraya El-Deir, além da orientação acadêmica, por todos os conselhos e por ser um exemplo de pessoa e profissional para todos que a rodeiam.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Thieres Freire, pela disponibilidade e valiosas considerações para esse trabalho.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, por todo o suporte fornecido.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Prof. Dr. Fernando Cartaxo e a Prof. Dr. Ranyére Nóbrega, pelo aceite para participação na banca e por suas contribuições.

A Sidney Kal-Rais, por toda sua disponibilidade em me apresentar o Polo Gesseiro do Araripe e suas peculiaridades.

Ao Gampe e todos os seus participantes, pelo companheirismo, confiança e bons momentos compartilhados.

Aos amigos que fiz na minha passagem pelo PPEAMB e por Recife pelas boas histórias, cumplicidade e apoio mútuo.

Aos amigos do CCA/UFPB, que continuaram ao meu lado na trajetória do mestrado, que mesmo à distância, tornaram essa etapa mais amena.

A todos agradeço!

SANTOS, J. P. O. **Estratégias de sustentabilidade na cadeia produtiva da gipsita pernambucana a partir do estudo das Pegadas Ecológica, Hídrica e de Carbono.** 2019. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

RESUMO

O estado de Pernambuco detém 18% das reservas de gipsita do país, no entanto, produz 97% do gesso consumido no Brasil. Isso é especialmente decorrente da qualidade do minério, que alcança pureza de até 98%. As reservas pernambucanas de gipsita se concentram na região do Araripe, com destaque para os municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade, que compõem o Arranjo Produtivo Local do Polo Gesseiro, denominado Polo Gesseiro do Araripe. Embora essa atividade represente uma importante fonte de recursos para a região, é responsável pela geração, direta e indireta, de uma série de eventos que apresentam potencial de degradação do meio ambiente local. Dada à importância dessa região na produção nacional do gesso e verificada a existência de impactos ambientais decorrentes da realização da atividade, este trabalho objetiva auxiliar na construção de estratégias de sustentabilidade para o setor gesseiro, identificando potenciais indicadores ambientais, como as Pegadas Ecológica, Hídrica e de Carbono. O presente escrito está ordenado em quatro capítulos: Capítulo 1 - Conservação ambiental no Polo Gesseiro do Araripe: relações econômicas e legais; Capítulo 2 - Análise de aplicabilidade da Pegada Hídrica na extração e beneficiamento da gipsita pernambucana; Capítulo 3 - Pegadas de Carbono e Ecológica da calcinação do gesso no estado de Pernambuco (Brasil) e Capítulo 4 - Impactos ambientais e perspectivas futuras na produção de gesso na região do Araripe, estado de Pernambuco. Os resultados encontrados atestam o atual alto grau de degradação do Polo, expresso em uma alta Pegada de Carbono e Ecológica. Somam-se a esse cenário as pressões antrópicas sobre a Caatinga e o lançamento de particulados para a atmosfera. A adequação rumo a moldes sustentáveis de produção ainda é incipiente e altamente dependente de ações do estado. Neste sentido, o presente escrito visa auxiliar na determinação de políticas públicas setoriais que elevem a sustentabilidade do polo gesseiro de Pernambuco.

Palavras-Chave: Indicadores de Sustentabilidade; Gesso; Impactos ambientais.

SANTOS, J. P. O. **Estratégias de sustentabilidade na cadeia produtiva da gipsita pernambucana a partir do estudo das Pegadas Ecológica, Hídrica e de Carbono.** 2019. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

ABSTRACT

The state of Pernambuco holds 18% of the country's gypsum reserves, however, it produces 97% of the gypsum consumed in Brazil. This is especially due to the quality of the ore, which reaches purity of up to 98%. The Pernambuco gypsum reserves are concentrated in the region of Araripe, with emphasis on the municipalities of Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri and Trindade, which make up the Local Productive Arrangement of the Polo Gesseiro, called the Polo Gesseiro do Araripe. Although this activity represents an important source of resources for the region, it is responsible for the direct and indirect generation of a series of events that present the potential of degradation of the local environment. Given the importance of this region in the national production of gypsum and verified the existence of environmental impacts resulting from the accomplishment of the activity, this objective study auxiliary in the construction of sustainability strategies for the plaster production, identifying potential environmental indicators such as the Ecological, Water and Carbon Footprint. The present paper is organized in four chapters: Chapter 1 - Environmental conservation in the Araripe Gossip Polo: Economic and legal relations; Chapter 2 - Analysis of Water Footprint applicability in the extraction and benefit of pernambucana gipsita; Chapter 3 - Carbon and Ecological Footprints of the gypsum calcination in the state of Pernambuco (Brazil) and Chapter 4 - Environmental impacts and future perspectives in the production of gypsum in the region of Araripe, Pernambuco state. The results found attest to the current high degree of degradation of the Pole, expressed in a high Carbon Footprint and Ecological. Added to this scenario are the anthropic pressures on the Caatinga and the release of particulates into the atmosphere. Adequacy towards sustainable production patterns is still incipient and highly dependent on state actions. In this sense, the present paper aims to help determine the sectoral public policies that increase the sustainability of the Pernambuco pole of production of plaster.

Keywords: Sustainability Indicators; Gypsum; Environmental impacts.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

Figura 1. Localização do Araripe Pernambucano.	8
--	---

CAPÍTULO 2

Figura 1. Localização do Araripe Pernambucano.	28
--	----

Figura 2. Esquema simplificado do processo de extração de gipsita no Araripe Pernambucano.	30
--	----

Figura 3. Esquema simplificado do processo de beneficiamento da gipsita no Araripe Pernambucano.	31
--	----

CAPÍTULO 3

Figura 1. Localização do Polo Gesseiro de Pernambuco	43
---	----

CAPÍTULO 4

Figura 1. Localização do Araripe Pernambucano	62
--	----

Figura 2. Fluxograma da etapa de beneficiamento do gesso e impactos negativos associados.	65
---	----

Figura 3. Modelo de Ecociclo Organizacional	69
--	----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Quantidade de lenha apreendida pela Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH) entre 2009 e 2014.	15
---	----

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Participação de insumos energéticos no beneficiamento de gipsita (com base na produção 2011–2012).	44
--	----

Tabela 2. Propriedades Físico-químicas das matérias-primas estudadas	45
---	----

Tabela 3. Emissões de CO ₂ na etapa de calcinação de gipsita em Pernambuco.	47
--	----

Tabela 4. Pegada de Carbono (PC) por cada tipo de matriz energética e total da etapa de calcinação da gipsita em Pernambuco.....	47
Tabela 5. Pegada Ecológica (PE) anual e por tonelada de gesso na etapa de calcinação de gipsita em Pernambuco.....	51
Tabela 6. Biocapacidade, Pegada Ecológica e Saldo Ecológico da etapa de calcinação de gipsita no Polo Gesseiro do Araripe.	53

CAPÍTULO 4

Tabela 1. Matriz Quantitativa dos impactos presentes na etapa de beneficiamento de gipsita.....	66
Tabela 2: Participação de insumos energéticos no beneficiamento de gipsita (com base na produção 2011–2012).	68

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 1

Quadro 1. Leis e Marcos Legais relacionados às atividades de mineração no Brasil... 13

CAPÍTULO 2

Quadro 1. Etapas que apresentam consumo de água (azul, verde e cinza) nos processos de extração e beneficiamento de gipsita no Araripe Pernambucano.	34
--	----

CAPÍTULO 4

Quadro 1. Análise Qualitativa dos impactos presentes na etapa de beneficiamento de gipsita.....	64
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
APL	Arranjo Produtivo Local
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
DOF	Documento de Origem Florestal
EF	Pegada Ecológica
GEE	Gases de Efeito Estufa
gha	Global Hectare
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PC	Pegada de Carbono
PH	Pegada Hídrica
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PRAD	Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
SINDUSGESSO	Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco
TFAPE	Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental do Estado de Pernambuco
TFCA	Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo Geral	2
2.2. Objetivos Específicos	2
3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
4. REFERÊNCIAS	3
CAPÍTULO 1: CONSERVAÇÃO AMBIENTAL NO POLO GESSEIRO DO ARARIPE: RELAÇÕES ECONÔMICAS E LEGAIS	5
1. INTRODUÇÃO	6
2. ÁREA DE ESTUDO E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	7
3. A PRODUÇÃO DE GESSO EM PERNAMBUCO FACE AOS CICLOS DE KONDRATIEV	9
4. RELAÇÃO DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL NA MINERAÇÃO	13
5. AS PRESSÕES ANTRÓPICAS E A RESILIÊNCIA DO UMBUZEIRO	16
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	18
7. REFERÊNCIAS	19
CAPÍTULO 2: ANÁLISE DE APLICABILIDADE DA PEGADA HÍDRICA NA EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DA GIPSITA PERNAMBUCANA	25
1. INTRODUÇÃO	26
2. MATERIAL E MÉTODOS	27
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
3.1. Pegada Hídrica na etapa de extração	29
3.2. Pegada Hídrica na etapa de beneficiamento	31
3.3. Desafios para a aplicação desse indicador	34
4. CONCLUSÕES	35
5. REFERÊNCIAS	36
CAPÍTULO 3: PEGADAS DE CARBONO E ECOLÓGICA DA CALCINAÇÃO DO GESSO NO ESTADO DE PERNAMBUCO (BRASIL)	40
1. INTRODUÇÃO	41
2. MATERIAL E MÉTODOS	43
2.1. Área de Estudo	43
2.2. Pegada de Carbono	44
2.3. Pegada Ecológica	46
2.4. Biocapacidade	46
2.5. Saldo Ecológico	47
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
5. REFERÊNCIAS	54
CAPÍTULO 4: IMPACTOS AMBIENTAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS NA PRODUÇÃO DE GESSO NA REGIÃO DO ARARIPE, ESTADO DE PERNAMBUCO 60	
1. INTRODUÇÃO	61
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	62
2.1. Área de Estudo	62
2.2. Metodologia	63
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
3.1. Qualificação e Classificação dos Impactos	64
3.2. Impactos Ambientais	67
3.3. Análise segundo o Ecociclo Organizacional	68
3.4. Os passos para a implementação da produção mais limpa setorial	70
3.4.1. Convencimento dos <i>Shareholders</i>	70
3.4.2. Poder Público como Agente de Modificação	70
3.4.3. Poder de Seletividade dos <i>Stakeholders</i>	71
4. CONCLUSÕES.....	71
5. REFERÊNCIAS	72
CONSIDERAÇÕES GERAIS	78

1. INTRODUÇÃO GERAL

As atividades de exploração mineral têm sido ao longo dos séculos, fonte de geração de grande riqueza econômica, estando assim na base das sociedades modernas (Mancini; Sala, 2018; Tost et al., 2018). Representam uma fonte significativa de insumos para o setor industrial e de componentes vitais para o bem-estar das populações e desenvolvimento de países (Mancini; Sala, 2018). Apesar de todas essas contribuições, a mineração também causa significativa degradação ambiental (Tost et al., 2018; Ranjan, 2019), entre os impactos associados a essas atividades destacam-se as mudanças na paisagem, contaminação hídrica, poluição do ar e alta demanda por água e energia. Ademais, existem sérios desafios relacionados à manutenção da biodiversidade, contribuição para as mudanças climáticas e apropriação dos recursos naturais (Ruokonen; Temmes, 2019).

Tomando-se como base o contexto de elevada pressão antrópica sobre o meio ambiente gerado pela mineração e outras atividades produtivas, nas últimas décadas, diversos instrumentos estão sendo desenvolvidos para descrever e quantificar os efeitos diretos e indiretos da apropriação do homem sobre o meio, merecendo destaque a Contabilidade Ambiental, que engloba uma série de indicadores que podem nortear a adequação de uma dada atividade rumo à sustentabilidade (Patterson et al., 2017). Entre esses métodos destacam-se a Pegada Ecológica, Pegada de Carbono (Patterson et al., 2017) e Pegada Hídrica (Hoekstra et al., 2011). Essas Pegadas constituem-se em indicadores pautados no consumo de produtos e/ou serviços e sua relação com os impactos ambientais, diagnosticando os processos e os impactos no decorrer da cadeia produtiva, sendo assim capazes de mensurar o uso do capital natural e/ou a geração de emissões de carbono (Simas et al., 2017).

A utilização destes indicadores de sustentabilidade ambiental representa uma iniciativa construtiva para o desenvolvimento de estudos a cerca do meio ambiente, somada ao fato de ser uma área em desenvolvimento, sendo emergente a nível global (Silva et al., 2017). Os seus usos em áreas de mineração permitem o monitoramento das medidas adotadas por esse segmento, ao mesmo tempo em que tem a capacidade de demonstrar o resultado da implantação de medidas corretivas (Sinha et al., 2017).

Embora sejam complementares, a Pegada Ecológica, Pegada de Carbono e Pegada Hídrica diferem em alguns aspectos. A Pegada de Carbono apresenta uma relação com a quantificação das emissões de gases de efeito estufa, alicerçando uma

discussão a cerca da influência sobre as mudanças climáticas. A Pegada Hídrica, por sua vez, mensura a quantidade de água consumida para a produção de um dado bem ou processo (Yousefi et al., 2017). Já a Pegada Ecológica representa a área bioprodutiva necessária para atender à demanda de recursos e absorver os resíduos gerados por uma população ou atividade (Wackernagel; Rees, 1996; Fan et al., 2017).

Nesse sentido, tomando-se como base a necessidade de sistemas produtivos alicerçados em técnicas limpas e eficientes, as operações de exploração mineral, como as da gipsita produzida em Pernambuco, podem vir a ser mais sustentáveis se integrarem práticas que reduzam o impacto ambiental de suas operações e, ao mesmo tempo, melhorem sua responsabilidade social (Ruokonen; Temmes, 2019). Para tanto, torna-se necessária a aplicação desses indicadores de sustentabilidade, buscando-se a compreensão do grau de impacto gerado e a readequação desses sistemas rumo à produção mais limpa.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Contribuir para o ajuste processual da cadeia produtiva da gipsita da Região do Araripe Pernambucano por meio da realização de desenho de estratégias de sustentabilidade, focadas a partir do estudo das Pegadas Ecológica, Hídrica e de Carbono, definindo-se perspectivas futuras de extração e beneficiamento racional e sustentável, com a busca de bases para uma produção mais limpa.

2.2. Objetivos Específicos

- ✓ Mensurar as consequências dos impactos ambientais gerados na cadeia produtiva da gipsita por meio da Pegada Ecológica;
- ✓ Verificar as medidas emergenciais de mitigação destes impactos que podem ser aplicados na região à luz da diminuição das Pegadas Hídrica e de Carbono;
- ✓ Detectar formas sustentáveis da cadeia produtiva da gipsita na região tomando-se por base a produção mais limpa;
- ✓ Definir perspectivas futuras na cadeia produtiva racional e sustentável, com a busca de bases para uma produção mais limpa e estabelecimento de desenho de estratégias de sustentabilidade focadas na extração da gipsita.

3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Visando-se atingir os objetivos propostos com maior profundidade, a presente dissertação está dividida em quatro capítulos:

Capítulo 1 - Conservação Ambiental no Polo Gesseiro do Araripe: Relações Econômicas e Legais.

Capítulo 2 - Pegada Hídrica na Mineração: Análise de Aplicabilidade na Extração e Beneficiamento da Gipsita Pernambucana.

Capítulo 3 - Avaliação das Pegadas de Carbono e Ecológica da Calcinação do Gesso Pernambucano (Brasil).

Capítulo 4 - Produção de Gesso no Araripe Pernambucano: Impactos Ambientais e Perspectivas Futuras.

Os referidos capítulos estão nas normas requeridas pelas revistas às quais foram submetidos, assim, a depender do capítulo, podem estar estruturados segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ou em normas específicas desses periódicos.

4. REFERÊNCIAS

FAN, Y.; QIAO Q.; XIAN, C.; XIAO, Y.; FANG, L. A modified ecological footprint method to evaluate environmental impacts of industrial parks. **Resources, Conservation and Recycling**, v.125, p. 293-299, 2017.

HOEKSTRA, A. Y. et al. **The water footprint assessment manual**. 1. ed. London: Water Footprint Network, 2011, 224 p.

MANCINI, L.; SALA, S. Social impact assessment in the mining sector: Review and comparison of indicators frameworks. **Resources Policy**, v.57, p. 98-111, 2018.

PATTERSON M.; MCDONALD, G.; HARDY, D. Is there more in common than we think? Convergence of ecological footprinting, emergy analysis, life cycle assessment and other methods of environmental accounting. **Ecological Modelling**, v. 362, n. 24, p.19-36, 2017.

RANJAN, R. Assessing the impact of mining on deforestation in India. **Resources Policy**, v. 60, p. 25-35, 2019.

RUOKONEN, E.; TEMMES, A. The approaches of strategic environmental management used by mining companies in Finland. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 466-476, 2019.

SILVA, V. P. R.; ALEIXO, D. O.; CAMPOS, J. H. B.C.; ARAÚJO, L. E.; SOUZA, E. P. Integrated Environmental Footprint Index (IEFI): Model Development and Validation. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n.5, p.918-927, 2017.

SIMAS, M.; PAULIUK, S.; WOOD, R.; HERTWICH, E. G.; STADLER, K. Correlation between production and consumption-based environmental indicators: The link to affluence and the effect on ranking environmental performance of countries. **Ecological Indicators**, v. 76, p. 317-323, 2017.

SINHA, S.; CHAKRABORTY S.; GOSWAMI, S. Ecological footprint: an indicator of environmental sustainability of a surface coal mine. **Environment, Development and Sustainability**, v.19, n. 3, p. 807–824, 2017.

TOST, M.; HITCH, M.; CHANDURKAR, V.; MOSER, P.; FEIEL, S. The state of environmental sustainability considerations in mining. **Journal of Cleaner Production**, v. 182, p. 969-977, 2018.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. **Our Ecological Footprint, reducing human impact on the earth**. New York: New Society Publishers. 1996.

YOUSEFI, M.; KHORAMIVAFA, M.; DAMGHANI, A. M. Water footprint and carbon footprint of the energy consumption in sunflower agroecosystems. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 24, p. 19827–19834, 2017.

CAPÍTULO 1

CONSERVAÇÃO AMBIENTAL NO POLO GESSEIRO DO ARARIPE: RELAÇÕES ECONÔMICAS E LEGAIS¹

RESUMO: O estado de Pernambuco é responsável por quase toda a produção de gesso no Brasil, que está concentrada na região do Araripe, onde há minas de gipsita com elevada pureza e facilidade de exploração. O Polo Gesseiro do Araripe representa um importante recurso para a região em que está inserida; no entanto, alguns fatores colocam em alerta a continuidade e o desenvolvimento desse setor, merecendo destaque a matriz energética, notadamente baseada no uso de lenha. Nesse contexto, o presente artigo analisa a relação entre os ciclos econômicos e o estado da arte da atividade, a legislação como parâmetro regulatório e a relação destes com a conservação do bioma Caatinga. Observa-se que a atividade sempre foi dependente da utilização de recursos lenhosos em sua cadeia produtiva, fator que levou a uma severa degradação desse bioma na região e que, devido à alta demanda por lenha, expande esse problema para outros estados do Nordeste. Embora exista uma vasta legislação relativa à questão ambiental, essa não é amplamente seguida, além de ser ainda pouco fiscalizada. Essa situação traz uma instabilidade nesse segmento produtivo, podendo acarretar na sua perda gradual de competitividade. Apesar desse cenário de pressões econômicas, ineficácia legal e redução da vegetação nativa, devem-se considerar os valores espirituais e morais da população local, como um agente de conservação ambiental de espécies específicas.

Palavras-chave: Arranjo produtivo local, Caatinga, Gipsita.

ENVIRONMENTAL CONSERVATION IN THE GYPSUM POLO OF ARARIPE: ECONOMIC AND LEGAL RELATIONS

ABSTRACT: The state of Pernambuco is responsible for almost all gypsum production in Brazil, which is concentrated in the region of Araripe, where there are gypsum mines with high purity and ease of exploration. The Polo Gesseiro do Araripe represents an important resource for the region in which it is inserted; however, some factors call into question the continuity and development of this sector, with emphasis on the energy matrix, notably based on the use of firewood. In this context, the present article analyzes the relationship between the economic cycles and the state of the art of the activity, the legislation as a regulatory parameter and the relation of these with the conservation of the Caatinga biome. It's observed that the activity has always been dependent on the use of wood resources in its productive chain, a factor that has led to a severe degradation of this biome in the region, and due to high demand for firewood, expands this problem to other Northeast states. Although there's a wide range of environmental legislation, it isn't widely followed and is still poorly scrutinized. This situation brings instability in this productive follow-up, which can lead to a gradual loss of competitiveness. Despite this scenario of economic pressures, legal ineffectiveness and reduction of native vegetation, factors such as the spiritual and moral values of the local population must be considered as an agent of environmental conservation of specific species.

Keywords: Local productive arrangement, Caatinga, Gypsum.

¹ Trabalho nas normas da Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional (Qualis Capes B2 – Engenharias I), estando o mesmo submetido e em estágio de avaliação na referida revista.

1. INTRODUÇÃO

A gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é um mineral encontrado em diversas regiões do mundo e apresenta um amplo campo de utilização, sendo a principal matéria prima para a produção de gesso (BALTAR et al., 2005). A produção mundial de gipsita é de cerca de 246 milhões de toneladas, sendo a China o maior produtor, representando mais da metade de toda produção global. O Brasil, por sua vez, é o maior produtor da América do Sul e o 13º do mundo, com uma produção em 2014 de aproximadamente 3,4 milhões de toneladas (QUEIROZ FILHO et al., 2015). As principais reservas do minério no país estão localizadas principalmente nos estados da Bahia, Pará e Pernambuco (SILVA, 2013).

O estado de Pernambuco possui 18% das reservas de gipsita nacionais, no entanto, é responsável por 97% da produção brasileira (SILVA, 2013). Essa produção se concentra na região do Araripe pernambucano, que desde o início das atividades de extração e beneficiamento de gesso em seu território, assumiu e consolidou o *status* de maior produtor nacional desse produto (OLIVEIRA; SHINOHARA, 2014). A gipsita dessa região é classificada como sendo a de melhor qualidade do mundo, com excelente qualidade industrial, apresentando uma elevada concentração de sulfatos, que chega até 95%, em contrapartida, o grau de impureza se apresenta em quantidades desprezíveis, raras vezes excedendo 0,5% do minério (OLIVEIRA et al., 2012).

Após sua retirada da lavra de exploração, a gipsita é submetida a temperaturas elevadas para que possa perder parte de sua água de cristalização, tornando-se um hemidrato (gesso), em um processo que recebe o nome de calcinação (BALTAR et al., 2005). Após esse processo, o gesso produzido, é utilizado em quase toda a sua totalidade para fins na construção civil. Esse material pode ser apresentado em duas formas, com utilizações distintas: o gesso de fundição e o de revestimento, que é empregado para a confecção de placas, blocos e revestimentos de paredes; e o gesso industrial, que se destina a confecção de cerâmicas, porcelanas e como fonte de cálcio e enxofre na indústria do vidro. O gesso também é utilizado em menores proporções como constituinte mineral na fabricação de papéis, plásticos e adesivos; como corretivo agrícola e na indústria ortopédica e odontológica (BARBOSA et al., 2014).

Apesar das atividades de exploração e principalmente beneficiamento da gipsita serem responsáveis pela maior parte da geração de receitas nessa região, a transformação do minério bruto em gesso, no processo de calcinação, requer constante

aporte de fontes energéticas, que, em boa parte, está sendo suprida pelos estoques madeireiros da Caatinga (ARÁUJO, 2013), que vem sendo desmatada sucessivamente e em grande parte de forma ilegal. O desmatamento também é realizado para a abertura de novas áreas de mineração (ARAÚJO, 2013). A associação da falta de consciência ambiental e da destruição do bioma Caatinga é um dos gargalos da cadeia produtiva do gesso e pode culminar com o comprometimento dessa atividade, causando instabilidade econômica e afetando, por fim, toda a população desta região (GRANJA et al., 2017).

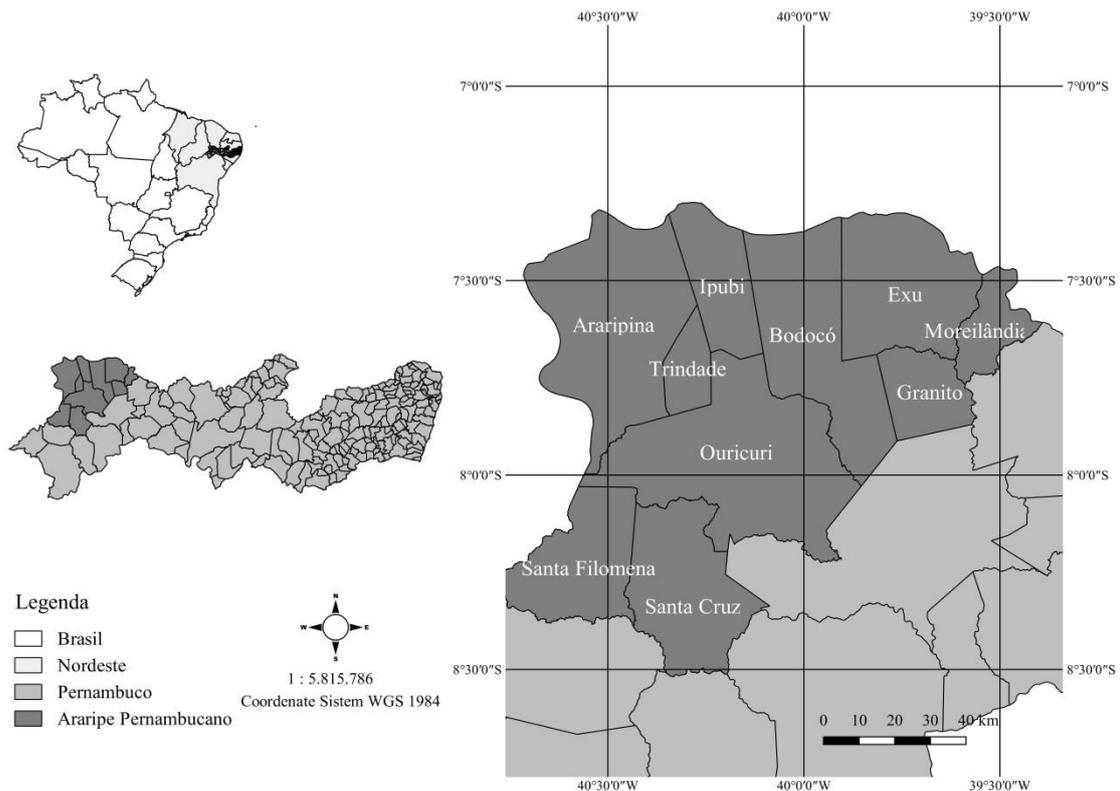
Existe, assim, uma linha tênue entre o crescimento econômico de uma região fragilizada por falta de opções de desenvolvimento e a conservação de um bioma único no mundo. Assim, como agente regulador desse conflito, faz-se uso do direito ambiental como uma ciência norteadora e conciliadora, buscando-se mecanismos de regulação na legislação pertinente (SAMPAIO, 2012). O Brasil possui uma das legislações ambientais mais avançadas do mundo, em que as questões relativas às atividades de extração e beneficiamento mineral, bem como seus impactos, são bem discutidas, no entanto, por vezes, não são aplicadas na prática, além da ocorrência de problemas no processo de fiscalização.

Por conta desta problemática, estudos que preencham a lacuna quanto à compreensão da relação entre as pressões econômicas e questões legais sobre a conservação ambiental no Araripe pernambucano, se fazem necessários. Essa necessidade é maximizada pela importância desse segmento produtivo, não só para a região em que está inserido, mas para todo o país.

2. ÁREA DE ESTUDO E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O Araripe pernambucano está localizado na microrregião de Araripina e na mesorregião do Sertão de Pernambuco, possui uma área territorial de 11.546,77 Km² (IBGE, 2017) e engloba dez municípios, sendo estes: Araripina, Bodocó, Exu, Granito, Ipubi, Moreilândia, Ouricuri, Santa Cruz, Santa Filomena e Trindade (Figura 1). Conta com uma população de 326.540 habitantes, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017).

Figura 1. Localização do Araripe Pernambucano.



Nessa área, encontram-se as principais ocorrências de reserva de gipsita de Pernambuco, com destaque os municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade, compondo o Arranjo Produtivo Local (APL) do Polo Gesseiro, denominado Polo Gesseiro do Araripe. As atividades mineradoras nessa região tiveram início na década de 1960, pela migração da atividade oriunda do Rio Grande do Norte, que anteriormente se destacava nesse segmento (SILVA, 2008).

Situada nos domínios do Semiárido brasileiro, a região do Araripe pernambucano oferece poucas opções econômicas para os seus moradores, especialmente pela baixa disponibilidade hídrica, comprometendo as atividades agropecuárias. Ainda que apresente problemas estruturais comuns a outras regiões do país, dificilmente os municípios do Araripe teriam o grau de desenvolvimento atual se não fosse pelas atividades de mineração e beneficiamento de gipsita em seu território.

O setor não apresenta um grau de organização compatível com a sua importância econômica, refletindo-se na falta de dados atualizados. Até 2014, encontravam-se no Polo 42 minas de gipsita, 174 indústrias de calcinação e 748 indústrias de pré-moldados, em pleno funcionamento. Estas geravam R\$ 1,4 bilhões em receitas. Esse *cluster* responde pela geração de 13,9 mil empregos diretos e 69 mil indiretos, constituindo-se no principal setor produtivo da região em que está inserido (SINDUSGESSO, 2014).

Grande parte dessa potencialidade se dá não só pelas ótimas condições das minas de gipsita da região, que conferem um minério de alta pureza, mas também pela facilidade de acesso, rodovias asfaltadas, disponibilidade de energia elétrica e uma maior proximidade do mercado consumidor do que os demais estados produtores (OLIVEIRA; SHINOHARA, 2014). Somam-se a isso os vultosos estoques locais de gipsita, que, se explorados no ritmo atual, podem durar pelos próximos 600 anos (SINDUSGESSO, 2014).

Este trabalho foi desenvolvido de forma exploratória, fazendo-se um levantamento de dados secundários a cerca da problemática em estudo. Para tanto, utilizou-se da literatura especializada, como artigos, livros, relatórios, teses e dissertações desenvolvidos na região do Polo Gesseiro do Araripe. Buscou-se correlacionar essas informações, visando-se compreender a dinâmica entre os diversos atores, visto que estes dados foram trazidos a público de forma isolada, até o presente momento. A pesquisa também se torna descritiva, pois analisa minuciosamente o objeto de estudo específico, requerendo um elemento interpretativo das relações dos agentes envolvidos. Ademais, foram realizadas visitas à área de estudo, buscando-se compreender como se dão as relações observadas, na prática.

3. A PRODUÇÃO DE GESSO EM PERNAMBUCO FACE AOS CICLOS DE KONDRATIEV

O economista russo Nicolai Kondratiev foi o precursor em prever a ocorrência de ciclos longos na história da economia mundial. Para tanto, reuniu dados econômicos estatísticos de países como a França, Inglaterra, Estados Unidos e Alemanha, buscando comprovar os mecanismos e leis que condicionam esses ciclos (WHITACKER, 2015). Para o autor, esses ciclos ou ondas econômicas desenvolvem-se a partir de fatores endógenos. Dessa forma, alterações no desenvolvimento capitalista podem levar ao desencadeamento de revoluções tecnológicas, mudanças nas relações econômicas internacionais e eventos de importância social e política, como guerras ou revoltas. A aplicação dessa teoria na economia é relativamente recente, sendo que até hoje compreende quatro ciclos completos e uma última onda ascendente iniciada nos anos noventa do século XX (BARRERA, 2014).

O primeiro ciclo (1789-1849) é marcado pelo desenvolvimento de inovações na indústria têxtil, uso do ferro e do vapor enquanto força motriz das máquinas. O segundo

ciclo (1849-1896) é caracterizado pela introdução das ferrovias, norteadas pelo ferro e o carvão. O terceiro ciclo (1896-1940) traz consigo a ascensão do aço, da eletricidade e da indústria química. O quarto ciclo corresponde a era do petróleo, dos automóveis, da produção e consumo de massa, pela expansão do investimento estrangeiro e das empresas multinacionais. O quinto ciclo, atual, inicia-se com o crescimento das tecnologias de informação e comunicação, ilustrado pela era digital e suas vertentes (CAMPOLINA; DINIZ, 2014). Segundo Hage (2015), estes ciclos funcionam como uma tipologia para a percepção da realidade, cujo principal objetivo é ajudar na ação da elite de Estado.

Cada ciclo dura em média 50 anos, estando relacionados às mudanças tecnológicas, à duração e ao tempo de maturação dos equipamentos de bens de capital (CAVALCA et al., 2017). Os processos de assimilação de novas tecnologias acarretam uma progressiva substituição técnica, aonde a oferta de emprego entra em declínio até o ponto em que a nova técnica substitui a anterior. Essa dinâmica leva a obsolescência da tecnologia antiga, com um sacrifício de recursos materiais e humanos, trazendo consigo efeitos negativos na forma de crise. No entanto, esse estado é dissipado progressivamente pela própria dinâmica do ciclo, na qual, depois de um período de crise, em que existe uma fuga de capital e ocorrência de desemprego, surge um novo ciclo de investimento, visando-se a introdução de uma novíssima técnica, restaurando-se assim o movimento de crescimento através dos investimentos em tecnologia (MALTA, 2014).

Esses ciclos são divididos em duas fases, A e B, cada uma de aproximadamente um quarto de século. A fase A se caracteriza por um movimento econômico ascendente, a fase B, por sua vez, apresenta um movimento inverso, ou seja, descendente. O Brasil pode ser inserido nessa dinâmica de ciclos longos da seguinte forma: na fase ascendente apresenta um incremento considerável nas suas exportações; já na fase descendente, motivado pela escassez de divisas, se dedica a substituir as importações (PEREIRA, 2014).

Nesse contexto, assim como as outras atividades econômicas, a extração mineral é fortemente influenciada pela dinâmica internacional e nacional, de tal modo que, em períodos de fase ascendente do ciclo, ocorre uma maior inserção da produção no comércio internacional. Já nas fases de declínio, ocorre uma retração a esses mercados (BRITO, 2011).

No tocante ao mercado externo, as exportações de gesso são pouco significativas, demonstrando a forte relação e dependência do mercado nacional. Dessa forma, o aumento da demanda é dependente de bons resultados da economia, que são responsáveis por impulsionar setores como o da construção civil. Todavia, uma vez que ocorram mudanças na tecnologia do sistema produtivo, pode-se obter um cenário de potencial expansão de mercado (BRAINER et al., 2012).

Aplicando-se os pressupostos desenvolvidos por Kondratiev para a produção de gesso no Araripe pernambuco, percebe-se que esse segmento produtivo atingiu sua “fase A” durante o período em que a região tinha bons estoques madeireiros, atrelada a uma legislação ambiental ainda insipiente e oferta de mão-de-obra barata, fatores que barateavam a produção final, garantindo uma maior margem de lucro. Soma-se a esse cenário o crescimento econômico do país, que impulsionou a utilização do gesso e seus derivados. Com a escassez de lenha para a utilização nas calcinadoras, surge a necessidade de importar esse material de outras regiões, encarecendo o processo. Os preços baixos do produto e o recente declínio econômico, que levam a quedas no consumo, denotam um potencial aprofundamento da crise, característica da “fase B”.

Pensando-se em minimizar os efeitos da instabilidade da matriz energética sobre o beneficiamento da gipsita, uma das saídas seria a substituição da lenha da Caatinga por madeira oriunda de planos de reflorestamento, na qual é possível se utilizar espécies de rápido crescimento, tornando-se assim uma alternativa econômica e ambientalmente viável (GADELHA et al., 2012). No entanto, como observado em campo, existe em grande parte dos *shareholders* do setor uma visão imediatista, aonde esperar o crescimento dessas árvores não é uma saída bem acolhida. Campello (2013) em trabalho desenvolvido no Polo Gesseiro, observou que dentre as 16 empresas por ele analisadas, apenas uma empresa possuía um plano de manejo florestal e era autossustentável no que se referia à utilização de lenha. Outra alternativa possível para o setor seria a utilização de gás natural.

O Polo Gesseiro já ensaiou o uso do gás natural em seus fornos. Em 2011 a empresa New Gipso começou a utilizar esse combustível. Os resultados demonstraram que a substituição da lenha pelo gás natural, em um forno modificado para a utilização desse combustível, trouxe aumento na produtividade, reduzindo o tempo de calcinação pela metade. Além desse resultado, devem ser pontuados a redução da pressão sob o bioma Caatinga e o menor custo final do gesso, uma vez que o gás pode chegar a ser 30% mais barato do que o equivalente a madeira. No entanto, para que ocorra uma

migração para essa matriz energética, são necessários investimentos governamentais em logística, permitindo que o gás possa chegar à região com preços competitivos (OLIVEIRA; SHINOHARA, 2014).

Como não existe um gasoduto até o Polo, o transporte do gás natural ocorre por meio de caminhões pressurizados partindo de Caruaru, que dista mais de 500 km, o que representava um custo em frete, problema que foi corrigido pelo governo de Pernambuco com a isenção da alíquota de 17% de ICMS sobre o combustível para as áreas em que o gás não chega por gasoduto (OLIVEIRA; SHINOHARA, 2014). No entanto, a ausência da manutenção dessas políticas provocou a descontinuidade dessa experiência, estando a New Gipso inativa no momento dessa pesquisa. A proposta de construção do gasoduto entre Caruaru e Araripina ainda está no projeto, inexistindo data para sua execução.

Em regiões produtoras de gesso, como as da Turquia, já se utiliza o gás natural como matriz energética (GÜRTÜRK; OZTOP, 2016). No entanto, já existem estudos buscando a substituição dos combustíveis convencionais por alternativos, visando-se reduzir a poluição ambiental (KOL; CHAUBE, 2013). Pesquisas desenvolvidas por Acharya e Chandak (2013), na Índia, e López-Delgado et al. (2014), na Espanha, observaram a viabilidade do uso de energia solar térmica no processo de calcinação.

Dessa forma, nota-se o quanto o Polo Gesseiro do Araripe está aquém de outras importantes regiões produtoras, onde já se adentram em um novo ciclo econômico, cenário que dificulta a inserção da sua produção no mercado internacional, uma vez que seus produtos tendem a apresentar maior preço final, inviabilizando assim a competição. Além disso, levando-se em consideração o grande apelo ecológico atrelado à parte das construções que usam gesso, a procedência desse material e seu modo de produção são quesitos que certamente pesam na escolha final dos grandes investidores. Logo, um material que em grande parte usa lenha de origem desconhecida para a sua fabricação, compromete as condições de competir com outros que empregam estratégias de produção mais limpa.

Ademais, essa situação, se não controlada, pode também levar à entrada do gesso internacional com preço mais competitivo no Brasil, levando a cadeia nacional a sérios prejuízos. Para contornar essa situação, em outubro de 2014, foram reajustadas as alíquotas do imposto de importação da gipsita em pedaços irregulares, que subiu de 4% para 20%. Já para a importação de chapa *drywall*, a alíquota subiu de 10% para 25%. No entanto, essa é uma medida paliativa, quando os esforços deveriam se concentrar em

buscar soluções para a matriz energética utilizada nesse segmento produtivo nacional, além do aumento processual.

4. RELAÇÃO DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL NA MINERAÇÃO

As atividades de mineração sempre estiveram atreladas ao homem, o que se explica pela característica dos minerais fornecerem diversos dos elementos essenciais para o seu estabelecimento. Assim, essa atividade é tida como um dos alicerces do desenvolvimento e crescimento econômico de diversos países, por ser uma grande fonte geradora de divisas. Todavia, os processos de exploração mineral são responsáveis por causar diversos impactos sobre o meio ambiente, que podem chegar a ser irreversíveis, causando distúrbios de grande magnitude, tanto ambientais, quanto sociais (BEZERRA, 2015). Nesse contexto, são necessários mecanismos que regulem e norteiem o funcionamento das atividades de mineração para que tais iniciativas estejam norteadas pela sustentabilidade. Dessa forma, existe uma farta legislação que ampara essa questão (Quadro 1).

Quadro 1. Leis e Marcos Legais relacionados às atividades de mineração no Brasil.

Leis e Marcos Legais	Ano de Promulgação /Implantação	Tratativas
Lei n. 24.642	1934	Código de Minas
Decreto-lei nº 227	1967	Instituiu o Código de Mineração, dando nova redação ao Código de Minas.
Criação da SEMA	1967	A criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA).
Lei nº 6.938	1981	Política Nacional do Meio Ambiente.
Resolução Conama nº 001	1986	Define os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental (BRASIL, 1986).
Decreto nº 97.632	1989	Estabelece que todos os empreendimentos de mineração apresentem um PRAD - Plano de Recuperação de Áreas Degradadas. S
Resolução Conama nº 237	1997	Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental.
Lei nº 9.605	1998	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.
Lei nº 10.165	2000	Altera alguns pontos da Política Nacional do Meio Ambiente, acrescentando ao Art. 3º os anexos VIII e IX, que tratam, respectivamente, das atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras

		de recursos ambientais, e valores em reais, devidos a títulos de Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental (TCFA), por estabelecimento, por trimestre.
--	--	--

Além da Legislação Federal, em nível estadual, o Estado de Pernambuco, em 2007, promulgou a Lei nº 13.361, que, institui o Cadastro Técnico Estadual de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais e a Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental do Estado de Pernambuco (TFAPE), e dá outras providências (PERNAMBUCO, 2007). Visto que a exploração mineral está enquadrada como atividade potencialmente poluidora e utilizadora de recursos ambientais, sob fiscalização da Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – CPRH, é obrigada a pagar a TFAPE.

Apesar da existência de uma farta legislação que ampara e estabelece o cuidado com o meio ambiente, no Polo Gesseiro do Araripe, há o descumprimento de muitos desses itens. Um dos grandes entraves está na recuperação das áreas de mina. Na maioria dos municípios do Polo, especialmente na região de Trindade, formam-se verdadeiros montes com o solo oriundo da escavação da lavra, que podem ser vistos a quilômetros de distância. Embora os responsáveis pelas minas afirmem que a recuperação é feita como preconiza a legislação, é notória a presença de diversas áreas degradadas e erodidas. Outro grande problema se dá no modo que esses ambientes são recuperados, uma vez que esse processo na maioria dos casos não é feito junto com o avanço da mina, esperando-se o encerramento total da lavra para tal. Além disso, o próprio processo de recuperação é conturbado, dando-se, na maioria das vezes, com o abandono da área e fechamento da lavra com o solo amontoado da retirada inicial. Tal situação também foi constatada por Araújo e Martins (2012) em minas da região.

Outro grande gargalo ambiental no Polo Gesseiro é a origem da lenha utilizada nos fornos das calcinadoras de gipsita. Até 2015, existiam na região do Araripe, 18 Planos de Manejos Florestais Sustentáveis, distribuídos nos municípios de Araripina (4), Exú (6), Ipubí (2) e Ouricuri (6), dos quais 15 estavam em andamento e 3 finalizaram o ciclo de exploração (GADELHA et al., 2015). Esses planos de manejo representam 11,75 % da lenha utilizada. Assim, os 88,24 % restantes são procedentes de áreas sem licenciamento ambiental, sendo 23,49 % de plantas exóticas como a algaroba e de poda de plantas frutíferas e 52,94% de origem desconhecida (CAMPELLO, 2011). Esta situação já culminou com o embargo de diversas empresas e aplicação de multas milionárias pelos órgãos de fiscalização (SILVA, 2009).

Tomando-se como base a situação descrita acima e analisando-se o consumo médio de lenha no Polo, que, segundo Henriques Júnior (2013), é superior a 2,5 milhões de metros estéreos (st) por ano, vislumbra-se o real impacto da atividade sobre os estoques madeireiros da Caatinga. Levando-se em consideração que mais da metade desse quantitativo é proveniente de origem desconhecida, ou seja, boa parte de extração ilegal de lenha, tem-se uma situação em que a efetiva aplicabilidade da legislação ambiental se faz necessária. Todavia, ao se analisarem as apreensões de lenha por falta de Documento de Origem Florestal (DOF), realizadas pelo órgão de fiscalização ambiental de Pernambuco, percebe-se a quantidade ínfima de material apreendido (Tabela 1). Deve-se ainda considerar que esse montante é para todo o estado, o que é ainda mais alarmante.

Tabela 1. Quantidade de lenha apreendida pela Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH) entre 2009 e 2014.

Ano	Lenha Apreendida (estéreo)
2009	637,75
2010	1335,00
2011	1531,00
2012	360,00
2013	497,00
2014	312,00

Fonte: Relatório de Gestão CPRH (2007-2010) e (2011-2014).

O não efetivo cumprimento da legislação, bem com os problemas relacionados à falta de uma fiscalização ambiental abrangente, tem levado essa região a um elevado grau de degradação ambiental. É perceptível, em boa parte do Polo Gesseiro, a presença de vastas áreas desnudas, que assim tornam-se mais susceptíveis aos problemas de erosão e instalação do estado de desertificação. Dados do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2010) corroboram com a situação verificada in loco, apontando para um grau de antropização da Caatinga superior a 50% em todos os municípios do Polo.

Essa situação torna-se ainda mais complexa por pressionar a abertura de novas frentes de exploração madeireira, que deixam de se concentrar apenas na região do Araripe e migram para outras áreas com melhores estoques. Esse impacto já foi registrado por Travassos e Sousa (2014), que observaram a extração maciça de lenha no Cariri da Paraíba para o abastecimento dos fornos das calcinadoras do Polo Gesseiro do

Araripe. Deve-se atentar para a distância entre esses dois pontos, que é superior a 600 km. Nesse mesmo sentido, Henriques Júnior (2013) também aponta para a importação de lenha de áreas do estado do Piauí, Ceará e norte da Bahia.

Entretanto, embora com todas essas não conformidades verificadas, observa-se que alguns fatores têm interferido na preservação de dadas espécies da Caatinga, visto que, mesmo com todo esse panorama de devastação, há exemplares que são conservados pelos sertanejos do Araripe pernambucano.

5. AS PRESSÕES ANTRÓPICAS E A RESILIÊNCIA DO UMBUZEIRO

Para além da legislação e pressões econômicas, há valores e crenças que podem influenciar na conservação ou preservação de espécies ou ambientes. Kala (2017) aborda a influência da espiritualidade sob a conservação da natureza e dos recursos naturais, mostrando a relação de diversas religiões e correntes com a ocorrência de áreas naturais conservadas, mesmo em ambientes antropizados, fruto de um caráter sagrado conferido a esses locais e seus componentes. Como exemplos, podem ser apontados montes e montanhas, como o Sinai no Egito e Fuji no Japão; bosques como os conservados por diversas comunidades indígenas ao redor do mundo, além de espécies animais e vegetais também tidas como sagradas.

No Araripe pernambucano, assim como na maior parte do Semiárido brasileiro, uma espécie emblemática é o umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.). Trata-se de uma planta arbórea que pode atingir até 7m de altura, com diâmetro de copa variando entre 10 e 15m (CAVALCANTI; RESENDE, 2006). Seus frutos e raízes são ricos em vitamina C e sais minerais, sendo utilizados para alimentação humana e animal, detendo uma grande importância para as populações rurais do Semiárido, principalmente nos anos de seca (BASTOS et al., 2016). Pode vegetar em uma grande diversidade de solos, se adaptando bem a regiões com índices pluviométricos entre 400 e 800 milímetros por ano. A sua capacidade de resistir às condições climáticas precárias deve-se à presença de túberas, denominadas xilopódios, que armazenam água para os períodos de estiagem (LORENZI, 2000). Esta é uma espécie endêmica da região semiárida, não existindo relatos de sua ocorrência em outros locais do planeta (GIULIETTI et al., 2002).

Já em 1902, Euclides da Cunha, em seu livro “Os Sertões”, imortalizara o umbuzeiro como a árvore sagrada do Sertão, atribuindo a sua existência ao fato de região tão inóspita poder ser povoada: “se não existisse o umbuzeiro aquele trato do

sertão (...) estaria despovoado”. Companheiro fiel do homem sertanejo, na qual “alimenta-o e mitiga-lhe a sede”.

Lins Neto et al. (2010) observaram, no município de Altinho, Pernambuco, a importância do umbu em uma comunidade rural. Nesse local, essas plantas chegavam a ser conhecidas por nomes próprios, diferenciando-as das demais da mesma espécie. Também são protegidas das ameaças ambientais, mantendo-se até mesmo as árvores em áreas abertas que são reservadas para o cultivo de milho, feijão e pastagens, além de se eliminarem os predadores que pudessem comprometer o seu desenvolvimento.

Santana (2016) desenvolveu trabalho no Sertão pernambucano, no qual analisou os fatores que contribuíram para a manutenção da população em uma região que está colapsada ambientalmente, pela extração de madeira para as indústrias gesseiras e cerâmicas, além de economicamente insustentável. Observou que entre tantos fatores para a fixação do homem, o principal foi a preservação da herança familiar. Foi observada, em depoimentos, a presença do umbuzeiro nessa dinâmica: “Enterrei meus pais, minha avó e dois filhos aqui, embaixo de um umbuzeiro. Preservo este pedaço de chão com minha vida e minha alma”. Certamente, o fato de sepultar seus mortos ao pé dessa planta, deve-se ao fato dessas comunidades a terem como símbolo de resistência e continuidade, uma vez que esta já acompanha a trajetória familiar, desde gerações anteriores.

Dos municípios do Araripe pernambucano, apenas Granito não figura como detentor de extração de umbu (INSA, 2015), o que não significa que não existam plantas da espécie presentes na área em questão. Provavelmente o que ocorre é a ausência de incentivo ao seu aproveitamento em maior escala como nos outros municípios, aonde vem sendo realizada a inclusão dos produtos da sociobiodiversidade em políticas públicas (CAMPELLO, 2013).

Muito embora essa conservação possa ser vista por alguns como um “ambientalismo de base antropocêntrica”, no qual as comunidades humanas preservam um dado ambiente ou espécime para atender às suas necessidades (GURGEL; PINHEIRO, 2011), para o umbuzeiro esse caráter aparenta apresentar uma menor importância, visto que embora historicamente o aproveitamento dos seus frutos e raízes sejam bem documentados, o uso para fins econômicos destes é algo mais recente, logo não explica por completo a sua conservação em áreas em que as demais espécies sucumbiram às pressões madeireiras. Tal conservação está mais relacionada a valores de

ordem moral por parte dos habitantes locais, que pode até ser considerada como um tipo de “respeito”, fenômeno que é perpetuado de geração em geração.

Nota-se, assim, que mesmo em um estágio de elevada demanda por recursos madeireiros na região, o umbuzeiro ainda resiste, fazendo parte do cotidiano local. É a árvore que sacia a fome do homem sertanejo durante a seca, que lhe dá a sombra durante a vida e que por vezes lhe serve de último abrigo. O umbuzeiro é assim a representação do cíclico, da força e garra de um povo, que compartilha da mesma capacidade de resiliência e vigor perante uma realidade tão adversa.

Embora esteja em grande parte salvaguardado da ação humana, o umbuzeiro apresenta problemas quanto à sua conservação, sofrendo com o modo de exploração agropecuária da Caatinga, principalmente decorrentes da criação de pequenos ruminantes, como cabras e ovelhas, que são responsáveis por ações de herbivoria das plantas recém-germinadas dificultando assim a renovação da espécie.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O entendimento da cadeia produtiva do gesso no Araripe transcende o aspecto da produção, apesar de ser uma das principais reservas de gipsita do país, configurando-se num Arranjo Produtivo Local (APL). Embora o Polo Gesseiro apresente atributos que podem potencializar seu crescimento, é tímido na busca de inovações que o possa colocar no mesmo limiar que as outras regiões produtoras no mundo, por conta de ainda utilizar como principal matriz energética a lenha, na grande maioria proveniente da Caatinga. Esse cenário leva a uma instabilidade nesse segmento, deixando-o refém da disponibilidade de recursos madeireiros, e na ausência de vias legais, burla a legislação e compromete a conservação do bioma em que está inserido.

O Estado por sua vez, ainda cumpre sua função de forma vaga, tanto como agente fiscalizador da legislação, como mentor das mudanças necessárias a esse setor. O panorama que se vem desenhando leva a um futuro incerto, podendo levar o Polo Gesseiro a uma falta de competitividade no mercado.

Mesmo sob toda essa complexidade de interação de fatores, a presença de espécies arbóreas como o umbuzeiro, leva a uma reflexão de como valores espirituais ou morais podem contribuir para a preservação de uma dada espécie, em detrimento da pressão por lenha para os fornos das calcinadoras. Percebe-se assim que esses valores

se sobrepõem à necessidade urgente por recursos madeireiros, tendo a efetividade que a própria legislação vigente não teve.

Por fim, percebe-se a complexidade que circunda a conservação ambiental nessa região, devendo-se considerar que o crescimento do APL está diretamente ligado à essa questão, restando duas saídas visíveis: continuar a produção nos moldes atuais, que além de degradar o que resta de Caatinga, leva à geração de um produto final com enorme passivo ambiental; ou, em esforços coletivos, buscar a resolução da questão da matriz energética pautada em estratégias de produção limpa e ecoeficiência.

7. REFERÊNCIAS

ACHARYA, H. N.; CHANDAK, A. Production of Plaster of Paris Using Solar Energy. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, v.2, n. 4, p.516-519, 2013.

ARAÚJO, S. M. S. A Ação do Estado e o Meio Ambiente no Polo Gesseiro do Araripe -PE nos Anos de 1990 E 2000. *Rios Eletrônica*, v.7, n. 7, p. 91-102, 2013.

ARAUJO, S. M. S.; MARTINS, L. A. M. A Indústria Extrativa Mineral do Pólo Gesseiro do Araripe e seus Impactos Sócio-Ambientais. *Revista de Geografia*, v.29, n. 1, p. 91-112, 2012.

BALTAR, C.; BASTOS, F.; LUZ, A. “Gipsita”. Rochas e Minerais Industriais, CETEM, p. 449-470, 2005.

BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso obtido do pólo do Araripe. *Cerâmica*, v.60, n.356, p.501-508, 2014.

BARRERA, Y. J. Los ciclos económicos largos y su dialéctica con el desenvolvimiento capitalista. *Economía y Desarrollo*, v.151, n.1, p. 44-55, 2014.

BASTOS, J. S; MARTINEZ, E. A.; SOUZA, S. M. A. Physicochemical characteristics of commercial umbu pulp (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara): concentration effect. *Journal of bioenergy and food science*, v. 3, n. 1, p. 11-16, 2016.

BEZERRA, L. M. A. Análise dos impactos socioambientais decorrentes da mineração na Chapada do Araripe – Nova Olinda/Ceará. *Geosaberes*, v. 6, n.esp. 2, p. 79 - 89, 2015.

BRAINER, M. S. C. P.; VIDAL, M. F.; FERREIRA, O. P.; NAHUZ, M. A. R. Manejo Florestal: Uma Possibilidade de Parceria entre Calcinadores e Apicultores na Chapada do Araripe (PE). *Informe Rural ETENE*, v. 6, n. 3, p. 1-23, 2012.

BRASIL. *Decreto-Lei N° 227*, de 28 de fevereiro de 1967. Dá nova redação ao Decreto-lei n° 1.985, de 29 de janeiro de 1940. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del0227.htm. Acesso em 08 de setembro de 2017.

BRASIL. *Decreto-Lei N° 24.642*, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Minas. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/D24642.htm. Acesso em 08 de setembro de 2017.

BRASIL. *Decreto-Lei N° 6.938*, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm. Acesso em 08 de setembro de 2017.

BRASIL. *Decreto-Lei N° 97.632*, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei n° 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97632.htm. Acesso em 08 de setembro de 2017.

BRASIL. *Decreto-Lei N°10.165*, de 27 de dezembro de 2000. Altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L10165.htm#art3. Acesso em 08 de setembro de 2017.

BRASIL. *Lei N° 9.605*, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras

providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm. Acesso em 08 de setembro de 2017.

BRASIL. *Resolução CONAMA Nº 001*, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acesso em 08 de setembro de 2017.

BRASIL. *Resolução CONAMA Nº 237*, de 19 de dezembro de 1997. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acesso em 08 de setembro de 2017.

BRITO, N. M. Desenvolvimento Econômico e Mineração: Uma Abordagem da Atividade em Corumbá, MS. *Entre-Lugar*, v. 2, n. 4, p. 123-150, 2011.

CAMPELLO, F. C. B. *Análise do consumo específico de lenha nas indústrias gesseiras: a questão florestal e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável da Região do Araripe – PE*. 2011. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2011.

CAMPELLO, F. C. B. O Consumo Específico de Lenha como Índice Técnico para o Ordenamento Florestal no Araripe em Pernambuco. *Revista dos Mestrados Profissionais*, v. 2, n. 1, p. 23-43, 2013.

CAMPOLINA, B.; DINIZ, C. C. Crise global, mudanças geopolíticas e inserção do Brasil. *Rev. Economia Política*, v.34, n.4, p.638-655, 2014.

CAVALCA, R. B.; KLOTZLE, M. C.; SILVA, P. V. J. G.; PINTO, A. C. F. A relação entre ciclos econômicos com o desempenho das empresas no mercado brasileiro. *R. Bras. Economia de Empresas*, v. 17, n. 1, p. 21-37, 2017.

CAVALCANTI, N.B.; RESENDE, G.M. Ocorrência de xilopódios em plantas nativas de imbuzeiro. *Revista Caatinga*, v. 19, n. 3, p. 287-293, 2006.

CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente. *Relatório de Gestão – CPRH 2011 – 2014*. CPRH, Recife, 2014. 67 p.

CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente. *Relatório de Gestão – CPRH 2007 – 2010*. CPRH, Recife, 2010. 72 p.

CUNHA, E. *Os Sertões: Campanha de Canudos*. 3.ed. São Paulo: Martin Claret, 2009. 650 p.

GADELHA, F. H. L. Rendimento Volumétrico e Energético de Clones de Híbridos de *Eucalyptus sp.* no Polo Gesseiro do Araripe, PE. *Ciência Florestal*, v. 22, n. 2, p. 331-341, 2012.

GADELHA, F. H. L.; SILVA, A. A. S.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, R. C.; TAVARES, J. A. Produtividade de clones de eucaliptos em diferentes sistemas de manejo para fins energéticos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 35, n. 83, p. 263-270, 2015.

GIULIETTI, A.M.; HARLEY, R.M.; QUEIROZ, L.P.; BARBOSA, M.R.V.; NETA, A.L.B.; FIGUEIREDO, M.A. Espécies endêmicas da caatinga. In: SAMPAIO, E.V.S.B.; GIULIETTI, A.M.; VIRGÍNIO, J.; GAMARRAROJAS, C.F.L. *Vegetação e flora da caatinga*. Recife: APNE, 2002. p. 11-24.

GRANJA, C. V. A.; CAVALCANTE, E. P.; CAFFÉ FILHO, H. P.; SIQUEIRA, M. S.; NASCIMENTO, W. Degradação Ambiental: Exploração de Gipsita no Polo Gesseiro do Araripe. *Id on Line*, v.11, n. 36, p. 239-267, 2017.

GURGEL, F. F.; PINHEIRO, J. Q. *Compromisso pró-ecológico. Temas Básicos em Psicologia Ambiental*. Petrópolis: Vozes, 2011, Cap.12. p. 159-173.

GÜRTÜRK, M.; OZTOP, H. F. Exergoeconomic analysis of a rotary kiln used for plaster production as building materials. *Applied Thermal Engineering*, v.104, v. 5, p. 486-496, 2016.

HAGE, J. A. A Possível Mudança do Centro Dinâmico do Capitalismo: A Contribuição dos Brics e os Limites do Hemisfério Sul. *Oikos*, v. 14, n.2, p. 48-64, 2015.

HENRIQUES JUNIOR, M. F. *Potencial de financiamento de eficiência energética: nos setores de cerâmica e gesso no Nordeste*. Instituto Nacional de Tecnologia –INT / MCTI, 2013, 137 p.

IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Monitoramento do bioma caatinga, 2002-2008*. Brasília, 2010. 58p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades@*. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=26&search=pernambuco>>. Acesso em: 20 de agosto de 2017.

INSA- Instituto Nacional do Semiárido. *O umbuzeiro e o semiárido brasileiro*. Campina Grande: INSA, 2015. 72p

KALA, C. P. Conservation of Nature and Natural Resources through Spirituality. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, v. 5, n. 2, p. 24-34, 2017.

KOL, S.; CHAUBE, A. Exergy analysis of cement plant: a review. *Prod. Eng.*, v. 3, n. 7, 2013.

LINS NETO, E. M. F.; PERONI, N.; ALBUQUERQUE, U. P. Traditional Knowledge and Management of Umbu (*Spondias tuberosa*, Anacardiaceae): An Endemic Species from the Semi-Arid Region of Northeastern Brazil. *Economic Botany*, v. 64, n. 1, p. 11–21, 2010.

LÓPEZ-DELGADO, A.; LÓPEZ-ANDRÉS, S.; PADILLA, I.; ALVAREZ, M.; GALINDO, R.; VÁZQUEZ, A. J. Dehydration of Gypsum Rock by Solar Energy: Preliminary Study. *Geomaterials*, n. 4, p. 82-91, 2014.

LORENZI, H. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. V.2, 3ed Nova Odessa, SP. Instituto Plantarum, 2000. 368p.

MALTA, M. M. Ignácio Rangel e a categoria dualidade básica: uma interpretação do Brasil. *Nova Economia*, v.24, n.1, p.17-31, 2014.

OLIVEIRA, F. M. C.; BORGES, L. E. P.; MELO, E. B.; BARROS, M. L. S. C. Características mineralógicas e cristalográficas da gipsita do Araripe. *HOLOS*, v. 28, n. 5, p. 71-82, 2012.

OLIVEIRA, M. A. C.; SHINOHARA, A. H. A experiência com gás natural/GLP no polo gesso do Araripe, PE. *Cerâmica*, v. 60, n.354, p.243-253, 2014.

PEREIRA, J. M. D. O centenário de Ignácio Rangel. *Rev. Economia Política*, v.34, n.4, p.544-564, 2014.

PERNAMBUCO. *Decreto-Lei 13.361*, de 13 de dezembro de 2007. Institui o Cadastro Técnico Estadual de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos

Ambientais e a Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental do Estado de Pernambuco - TFAPE, e dá outras providências. Disponível em: <http://legis.alepe.pe.gov.br/arquivoTexto.aspx?tiponorma=1&numero=13361&complemento=0&ano=2007&tipo=&url=>. Acesso em 08 de setembro de 2017.

QUEIROZ FILHO, A. A.; AMORIM NETO, A. A.; DANTAS, J. O. C. Gipsita. In: LIMA, T. M.; NEVES, C. A. R. (coord.) *Sumário Mineral*, Brasília: DNPM, 2016. p. 72-73.

SAMPAIO, R. *Direito Ambiental*. Fundação Getúlio Vargas: Direito Rio, 2012, 179 p.

SANTANA, O. A. Resistência social na Caatinga árida: a narrativa de quem ficou no colapso ambiental. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 38, p. 419-438, 2016.

SILVA, J. A. A. Potencialidades de florestas energéticas de *Eucalyptus* no Polo Gesseiro do Araripe-Pernambuco. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, v.5, n. 6, p. 301-319, 2009.

SILVA, J. A. A.; ROCHA, K. D.; FERREIRA, R. L. C.; TAVARES, J. A. Produtividade Volumétrica de Clones de *Eucalyptus spp.* no Polo Gesseiro do Araripe, Pernambuco. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, v. 10, p. 240-260, 2013.

SILVA, P.R. *Pernambuco (1850 – 1950): Cem Anos de Reflexão, Antes do Cluster do Gesso*. 131 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Administração) Faculdade Boa Viagem, Recife, 2008.

SINDUSGESSO- Sindicato das Indústrias do Gesso do Estado de Pernambuco. *Polo Gesseiro*. 2014. Disponível em: http://www.sindusgesso.org.br/polo_gesseiro.asp. Acesso em: 20 de agosto de 2017.

TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I. Os negócios da lenha: indústria, desmatamento e desertificação no Cariri paraibano. *GEOUSP: Espaço e Tempo*, v. 18, n. 2, p. 329-340, 2014.

WHITACKER, G. M. Território e poder: apropriação, uso e controle de recursos naturais e a irreformabilidade do modo de produção capitalista. *Rev. Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, v. 20, n.1135, p.1-30, 2015.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DE APLICABILIDADE DA PEGADA HÍDRICA NA EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DA GIPSITA PERNAMBUCANA²

RESUMO: As atividades de exploração e beneficiamento de minerais são reconhecidamente responsáveis por severas pressões sobre os ecossistemas em que estão inseridas, sendo necessário mensurar esses impactos através do uso de indicadores. Nos últimos anos, a Pegada Hídrica (PH) tem ganhado espaço como indicador de sustentabilidade, principalmente por medir a apropriação dos recursos hídricos por atividades antrópicas. Frente à carência de estudos que abordem a aplicação desse indicador para atividades minerais, o presente estudo objetivou avaliar a aplicabilidade do uso da PH para as etapas de exploração e beneficiamento de gipsita em Pernambuco, maior produtor brasileiro desse minério. A demanda de uso de água nessas etapas foi analisada in loco, identificando-se os processos responsáveis por consumir esse líquido em seus três modos de inserção na quantificação final da PH: a água azul, verde e cinza. Para as etapas analisadas, observou-se uma predominância do uso indireto da água, com destaque para a água verde embutida no uso de lenha da Caatinga e a água cinza proveniente da degradação da qualidade dos reservatórios da região pela liberação de particulados, ambas na etapa de beneficiamento. O consumo de água azul tanto na exploração, quanto no beneficiamento, são pouco representativos, visto serem processos realizados a seco. O uso da PH para esse segmento produtivo representa um importante mecanismo para quantificar a pressão antrópica sobre os recursos hídricos locais, numa região que tradicionalmente enfrenta problemas de escassez hídrica, sendo sua quantificação importante para traçar estratégias de sustentabilidade setorial.

Palavras-chave: Araripe pernambucano; Gesso; Indicadores de sustentabilidade.

ANALYSIS OF WATER FOOTPRINT APPLICABILITY IN THE EXTRACTION AND BENEFIT OF PERNAMBUCANA GIPSITA

ABSTRACT: Mineral exploration and processing activities are recognized as being responsible for severe pressures on the ecosystems in which they are inserted, and it is therefore necessary to measure these impacts through the use of indicators. In recent years, the Water Footprint (WF) has gained space as an indicator of sustainability, mainly for measuring the appropriation of water resources by anthropic activities. In view of the lack of studies that address the application of this indicator to mineral activities, the present study aimed to evaluate the applicability of WF to the exploration and beneficiation stages of gypsum in Pernambuco, the largest Brazilian producer of this ore. The demand for water use in these stages was analyzed in loco, identifying the processes responsible for consuming this resource in its three modes of insertion in the final quantification of the Water Footprint: blue, green and gray waters. For the analyzed steps, a predominance of indirect water use was observed; with emphasis on the green water embedded in the use of Caatinga wood and the gray water from the degradation of the quality of the reservoirs of the region by the release of particulates,

² Trabalho nas normas da Revista em Agronegócio e Meio Ambiente - RAMA (Qualis Capes B3 – Engenharias I), estando o mesmo submetido e em estágio de avaliação na referida revista.

both in the beneficiation stage. The consumption of blue water both in the exploration of the gypsum deposit and in the processing, are not very representative, since they are dry processes. The use of the Water Footprint for this productive follow up represents an important mechanism to quantify the anthropic pressure under the local water resources, in a region that traditionally faces problems of water scarcity, therefore, its quantification is important to draw up sustainability strategies in this sector.

Keywords: Araripe pernambucano; Gypsum; Indicators of sustainability.

1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento das populações humanas e atividades industriais têm levado ao consumo cada vez maior de recursos hídricos, associado muitas vezes à deterioração da qualidade desses recursos. Dentro das atividades industriais, a mineração pode representar um grande consumidor local de água nas regiões onde ocorre, embora seja um consumidor relativamente pequeno de água se considerada a escala global e outras atividades produtivas (Northey et al., 2016). Assim, estudos sobre a demanda hídrica desse segmento representam um campo significativo de pesquisa, podendo gerar resultados que revelem os múltiplos impactos sobre os recursos hídricos, além de poderem nortear ações de sustentabilidade para essa atividade (Northey et al., 2014; Xu et al., 2018).

Entre os indicadores que mensuram o consumo de água em processos produtivos destaca-se a Pegada Hídrica (PH). Desenvolvida por Hoekstra et al. (2011), a PH inicialmente foi aplicada para as atividades agrícolas, principalmente porque as necessidades de água para a agricultura geralmente são superiores às de outros setores (Zhang et al., 2018).

A Pegada Hídrica avalia três aspectos do uso da água: água azul, verde e cinza. A água azul contabiliza o consumo de águas superficiais ou subterrâneas e inclui a água evaporada, água incorporada no produto e fluxo de retorno perdido. A água verde está ligada ao consumo de água da chuva que é armazenada no solo e é evaporada, transpirada ou incorporada pelas culturas (Ibidhi; Salem, 2018). Já a água cinza é definida como a quantidade de água doce que é necessária para assimilar a carga de poluentes liberada num dado processo, baseando-se nas concentrações naturais dos compostos químicos avaliados e nos padrões legais de qualidade de água existentes (Hoekstra et al., 2011). Deve-se considerar que diferente da água azul e verde, a água cinza não é uma quantidade real consumida, mas uma quantidade hipotética que é

requerida para assimilar a poluição da água a certos níveis pré-definidos, representando assim, o ônus econômico do uso da água (Hoekstra; Chapagain, 2008).

Trabalhos que contemplem a aplicação da Pegada Hídrica na mineração ainda são escassos, destacando-se os estudos de Northey et al. (2014) e Northey et al. (2016) que estão voltados para a aplicação desse indicador para a produção de minerais metálicos, como cobre, ouro e níquel. Existem assim lacunas quanto à aplicação dessa ferramenta para outros minerais, com destaque para os não metálicos, como por exemplo, a gipsita.

A gipsita é um sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que corresponde à principal matéria-prima natural para a produção de gesso, material com vastas aplicações na indústria de construção civil, além de diversos outros usos (Rivero et al., 2016). O Brasil possui reservas significativas de gipsita, figurando como o maior produtor da América do Sul. As reservas nacionais estão localizadas no Norte, Nordeste e Centro-Oeste do país (Shiroma et al., 2016). O estado de Pernambuco, embora só detenha 18% das reservas brasileiras desse minério, é responsável por 97% da produção nacional de gesso (Silva, 2013), que está concentrada no Polo Gesseiro do Araripe, no extremo oeste do estado.

Nesse contexto, tomando-se como base a importância do setor de extração e beneficiamento de gipsita para o estado de Pernambuco, bem como a carência de estudos quanto ao potencial de aplicação de indicadores de sustentabilidade nesse segmento, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a aplicabilidade da utilização da Pegada Hídrica para essa cadeia produtiva.

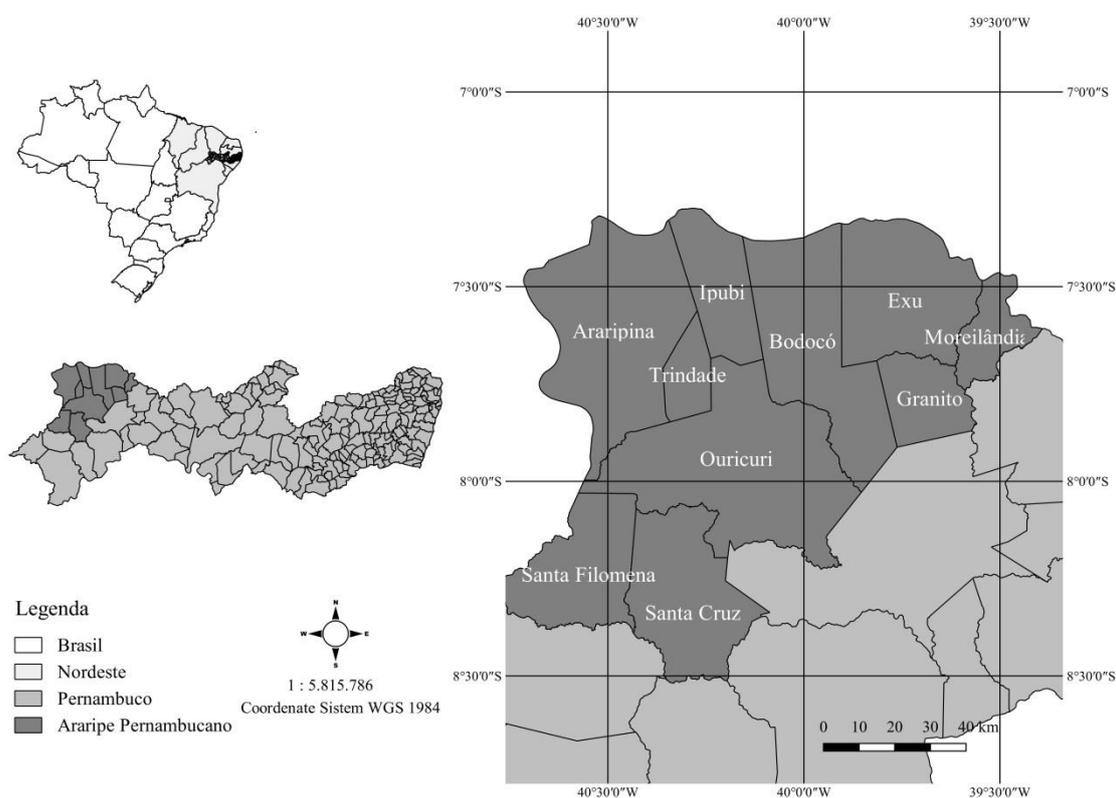
2. MATERIAL E MÉTODOS

O Araripe pernambucano abrange uma área de 11.546,77 Km^2 que corresponde à microrregião de Araripina, estando inserido na mesorregião do Sertão de Pernambuco. Nessa região estão localizados dez municípios: Araripina, Bodocó, Exu, Granito, Ipubi, Moreilândia, Ouricuri, Santa Cruz, Santa Filomena e Trindade (Figura 1), com uma população estimada de 326.540 habitantes (IBGE, 2017). Detentor das principais reservas pernambucanas de gipsita, o Araripe Pernambucano, notadamente os municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Trindade e Ouricuri, compõem o Arranjo Produtivo Local (APL) do Polo Gesseiro do Araripe, cujas reservas estimadas de gipsita são da ordem de mais de um bilhão de toneladas de minério bruto, representando 18%

das jazidas do Brasil (Oliveira; Shinohara, 2014). A produção anual de gesso é de cerca de 4,5 milhões de toneladas e o tempo estimado de exploração das reservas locais é de cerca de 600 anos (SINDUGESSO, 2014).

O início da exploração de gipsita em Pernambuco data do início da década de 1960, desde então, o estado assumiu e consolidou a posição de maior produtor nacional de gipsita e gesso. Os números expressivos da produção e beneficiamento da gipsita pernambucana estão diretamente atrelados a fatores como a facilidade de exploração de suas minas, infraestrutura logística e proximidade com os mercados consumidores; ademais, deve se considerar a qualidade de seu minério, tido como o mais puro do mundo, com pureza entre 88-98% (Oliveira; Shinohara, 2014).

Figura 1. Localização do Araripe Pernambucano.



Embora na área de influência do Polo Gesseiro outras atividades econômicas sejam desenvolvidas, com destaque para o setor de serviços e a agricultura, a produção e comercialização do gesso representam a principal fonte geradora de receitas e de empregos do Araripe (Silva et al., 2013). Esse segmento é responsável por gerar 13,9 mil empregos diretos e 69 mil indiretos, com um faturamento de aproximadamente R\$ 1,4 bilhão (SINDUGESSO, 2014).

O gesso produzido no Araripe é direcionado para suprir a demanda nacional do produto, que encontra aplicação em diversas atividades que vão desde a indústria da construção civil até a de material ortopédico, dental, corretivos agrícolas e outras variadas aplicações (Melo et al., 2017). Para a obtenção do gesso, o minério de gipsita é calcinado a temperaturas superiores a 140°C, processo no qual perde 75% da água de cristalização, resultando na geração de um hemidrato (Barbosa et al., 2014).

Para se verificar a demanda do uso de água nas etapas de extração e beneficiamento da gipsita foram realizadas visitas in loco a uma empresa mineradora e a uma calcinadora. Tendo em vista que as empresas desses segmentos seguem basicamente o mesmo modo de operação (técnicas de exploração e beneficiamento), essa amostra permite identificar com eficiência as etapas onde se faz necessário o aporte hídrico.

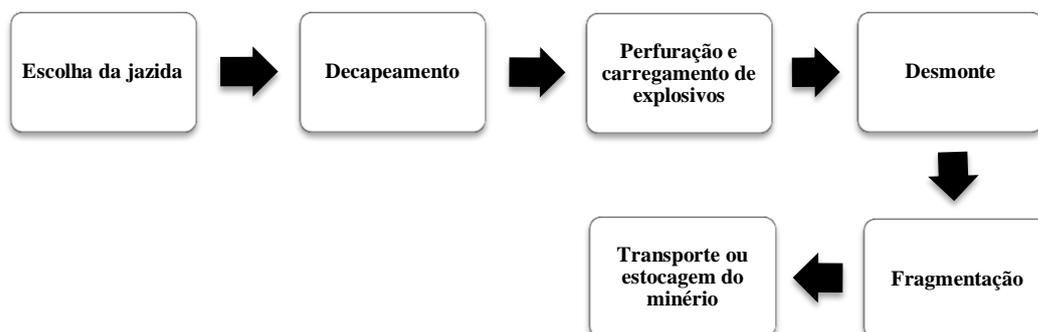
Realizou-se a análise do potencial de ocorrência dos três tipos de Pegada Hídrica (azul, verde e cinza) em dois momentos distintos: extração e calcinação. Buscando-se, assim, verificar com maior profundidade a aplicabilidade desse indicador.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Pegada Hídrica na etapa de extração

A gipsita pernambucana é extraída em lavras a céu aberto, em função das jazidas estarem sob capeamento não muito espesso (da ordem de 5,00 metros), favorecendo esse tipo de exploração (Oliveira et al., 2012). Assim, nessa primeira etapa já há uma interferência sob os recursos hídricos locais, visto que a remoção do solo inviabiliza o armazenamento de água nesse compartimento, comprometendo localmente a recarga do lençol freático. A etapa de extração é formada por 6 etapas subsequentes (Figura 2).

Figura 2. Esquema simplificado do processo de extração de gipsita no Araripe pernambucano.



Como se pode observar para a gipsita, não há uma etapa de lavagem, como é comum para outros minérios, o que implica na não utilização de água azul. De fato, os processos usados para extração de minérios requerem quantidades menos significativas de água se comparados com a etapa de beneficiamento, com gastos concentrados em atividades como supressão de poeira, controle de incêndio ou resfriamento de equipamentos (Northey et al., 2016). Para as condições de extração da gipsita no Araripe, a Pegada Hídrica Azul está assim restrita ao consumo de água para a limpeza de maquinário e, de forma indireta, para as necessidades de consumo dos trabalhadores.

A mensuração da água verde não se aplica a essa etapa, vistas as peculiaridades desse processo. No tocante à água cinza, não se registra na exploração o lançamento significativo de efluentes, pois trata-se de um processo realizado a seco. Caso contrário, essa situação implicaria na utilização de mecanismos como as barragens de rejeito, estruturas responsáveis para evitar os danos ambientais causados pelo descarte inadequado desse tipo de material, mas que não são uma solução definitiva para os problemas desse setor, especialmente pelo risco de vazamento (Burritt; Christ, 2018).

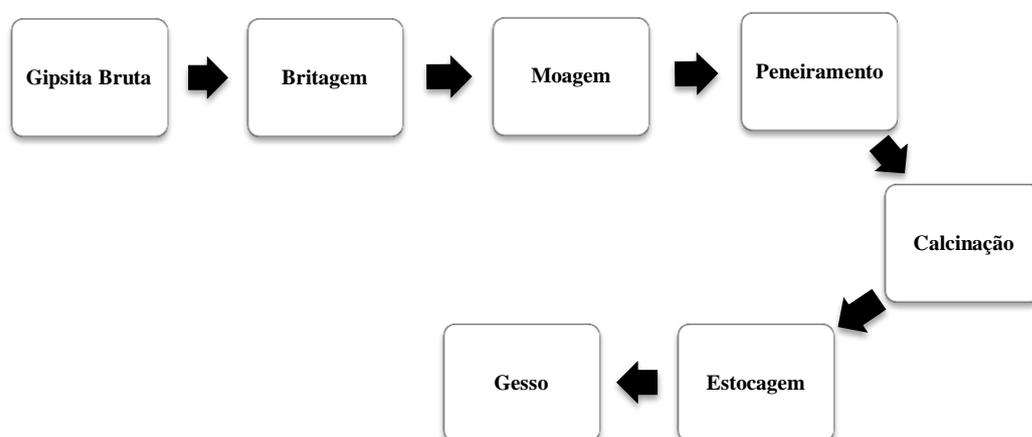
De forma indireta, deve-se considerar o potencial de geração de águas cinza provenientes da produção do óleo diesel utilizados nas máquinas e na etapa de transporte da gipsita. Ma et al. (2018a) observaram que, para a produção de energia elétrica à base de carvão na China, o transporte de material representou aproximadamente 60% na Pegada Hídrica Cinza da produção desse insumo, enquanto que a descarga direta de efluentes foi responsável por uma proporção desprezível na composição desse indicador.

Essa necessidade de se considerar as águas cinza provenientes do transporte de material também foi elencada por Gerbens-Leenes et al. (2018), que argumentam que a etapa de transporte exige energia de fontes que detém uma PH embutida, precisando assim ser levada em conta no cálculo final. Todavia, ao se considerarem os pequenos trajetos realizados dentro da mina, percebe-se que esse cálculo deveria ser incorporado ao processo de beneficiamento, em função das maiores distâncias percorridas entre a área de exploração e as empresas calcinadoras. Ainda assim, seria uma mensuração indireta, que dentro do escopo final, pode representar uma fatia insignificativa, tomando como base a proximidade entre esses dois ambientes (Ma et al., 2018b).

3.2. Pegada Hídrica na etapa de beneficiamento

Após a chegada na calcinadora, a gipsita passa por uma série de etapas até a obtenção do produto final (Figura 3). A maior parte do gesso produzido no Araripe advém da gipsita calcinada a seco sob pressão atmosférica, cuja principal finalidade é reduzir o teor de água do minério (Barbosa et al., 2014). Logo, verifica-se que o aporte direto de água não é requerido, tampouco recomendado nesse processo. Deve-se considerar assim, que a maior parte da utilização de água azul se dá pela eventual limpeza de equipamentos, procedimento raro, visto o ritmo de trabalho dessa atividade. Gastos indiretos também podem ser observados com a manutenção das necessidades dos trabalhadores.

Figura 3. Esquema simplificado do processo de beneficiamento da gipsita no Araripe pernambucano.



No Polo Gesseiro, 174 indústrias de calcinação estão em atividade (SINDUGESSO, 2014), em sua maioria empresas familiares e de pequeno porte, que em grande parte, após a obtenção do gesso em pó, destinam parte desse material para a fabricação de placas em ambientes anexos à calcinadora. Essa etapa requer assim que o gesso seja hidratado para que, em contato com a água, forme uma pasta consistente e trabalhável (Menezes; Póvoas, 2016). Nesse contexto, a fabricação de placas é responsável por quase a totalidade da água consumida numa empresa de calcinação que possua essa dupla atividade. Todavia, por ser uma atividade após a obtenção do produto em estudo, não poderia ter sua demanda por água azul incorporada à Pegada Hídrica da produção do gesso.

Um fator chave na etapa de calcinação é a matriz energética, pois no Polo Gesseiro a lenha representa 96,6% dos insumos energéticos utilizados (Henriques Júnior, 2013). Dessa forma, a quantificação da água necessária para a produção desse insumo se faz necessária, principalmente ao se considerar as condições de semiaridez em que o Polo está inserido. Nesse sentido, a utilização da Pegada Hídrica é um mecanismo extremamente eficiente por agregar num só indicador a quantidade direta de água consumida e a água virtual da cadeia de fornecimento de um produto (Hosseinian; Nezamoleslami, 2018). Para esse caso em específico, a água verde embutida na produção da lenha pode representar a maior fração da PH final, em função da grande quantidade demandada desse insumo.

Mekonnen et al. (2015), ao compararem a pegada hídrica da geração de calor utilizando várias fontes de energia, observaram que a PH da lenha é imensamente superior a PH de outras fontes como o carvão, petróleo, gás e urânio. Mathioudakis et al. (2017) estimaram, para o eucalipto, uma pegada hídrica verde superior a $1200 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, evidenciando a grande demanda hídrica na cadeia de produtos madeireiros.

Deve-se considerar que a lenha utilizada na calcinação do gesso pernambucano é oriunda em sua maior parte da Caatinga, bioma que, entre outras características, apresenta além de baixos índices pluviométricos, uma alta taxa de evapotranspiração, fator que leva a um maior uso de água no estágio de crescimento vegetativo (Manzardo et al., 2014), o que pode representar um maior PH Verde quando comparada à lenha obtida em outras regiões tropicais.

Entretanto, cabe destacar discussões como as levantadas por Launiainen et al. (2014), que argumentam que florestas naturais e seminaturais existiriam e utilizariam a

água verde independentemente da gestão humana, bem como as florestas alimentadas pela chuva não usam mais água verde do que a disponível para a absorção de suas raízes, logo seriam sustentáveis do ponto de vista da pegada hídrica. Todavia, ao se considerar o contexto do presente trabalho, a mensuração desse indicador para a lenha é extremamente recomendada, tanto pelo uso massivo de lenha de origem ilegal, contribuindo para a degradação da Caatinga e a redução de seus serviços ecossistêmicos, como pela busca de sustentabilidade produtiva num ambiente em que água já é um fator limitante.

Como já mencionado anteriormente, a gipsita no Araripe é calcinada a seco, não sendo assim responsável pela emissão de efluentes líquidos. De forma indireta, deve ser considerada a Pegada Hídrica Cinza oriunda do uso de combustíveis fósseis na etapa de transporte e em alguns maquinários, bem como a fatia destes utilizada por algumas empresas como matriz energética na etapa de calcinação, embora represente uma parte muito pequena da matriz energética total.

A etapa de calcinação é responsável por emitir uma quantidade considerável de particulados na atmosfera, que em grande parte se deve ao fato das empresas não utilizarem filtros em suas chaminés. Esse material se dissipa na atmosfera em forma de plumas, que em alguns casos, por ação dos ventos, podem chegar a quilômetros de seu local de origem (Arruda et al., 2012). Em contato com a água, o óxido de enxofre (SO) presente nesses particulados sofre reações, resultando em gás sulfídrico e ácido sulfúrico (Araújo; Martins et al., 2012).

A Pegada Hídrica Cinza de etapas de produção, como é o caso do beneficiamento da gipsita, refere-se ao volume de água doce que é necessário para assimilar a carga de poluentes com base nos padrões de qualidade de água existentes (Cazcarro et al., 2016). Nesse sentido, a PH Cinza é calculada a partir da carga do poluente crítico dividida pela diferença entre a concentração máxima permitida e a concentração natural para esse poluente (Gerbens-Leenes et al., 2018). O poluente crítico adotado varia de acordo com a atividade trabalhada e as características do processo produtivo, por exemplo, para as atividades agrícolas, utiliza-se o nitrogênio como padrão de qualidade de água doce (Hu et al., 2018). Para o beneficiamento de gipsita, pode-se tomar como referência de poluente crítico os sulfatos, visto ser o componente mais representativo dentro dessa cadeia produtiva. Estudos como os de Arruda et al. (2012) e Arruda et al. (2015) verificaram altos teores de sulfato nas águas de reservatórios na região do Polo

Gesseiro, com concentração na maioria das vezes superiores aos estabelecidos pela legislação brasileira, o que os referidos autores atribuem à solubilização da poeira proveniente da produção de gesso. Deve-se considerar ainda que a região onde essa atividade é desenvolvida é extremamente carente de recursos hídricos; logo, a perda da qualidade de água de suas fontes de abastecimento representa um problema socioambiental em potencial.

3.3. Desafios para a aplicação desse indicador

A utilização da Pegada Hídrica como indicador de sustentabilidade em diversas atividades produtivas vem crescendo no mundo (Hosseinian; Nezamoleslami, 2018; Ibidhi; Salem, 2018; Ma et al., 2018), embora sua utilização em atividades minerais ainda seja pouco estudada. Sua aplicação para a produção de gesso no Araripe de Pernambuco se faz necessária frente aos graves problemas ambientais decorrentes dessa atividade, principalmente pela água ser um fator limitante nessa região.

Diversas etapas dentro da exploração e beneficiamento da gipsita apresentam demanda por água, seja de forma direta ou indireta (Quadro 1). Todavia, na etapa de exploração essa demanda ocorre em menor grau, e na maioria das vezes de forma indireta, o que dificulta a mensuração desse indicador, notadamente pela falta de uma base de dados robusta. Dessa forma, iniciativas de aplicação da PH nesse momento podem não ser tão efetivas quanto se fossem aplicadas durante o processo de beneficiamento, embora essa quantificação seja imprescindível para se calcular a PH total da produção de gesso.

Quadro 1. Etapas que apresentam consumo de água (azul, verde e cinza) nos processos de extração e beneficiamento de gipsita no Araripe pernambucano.

Processo	Tipo de Água	Abrangência	Etapa
Exploração	Água Azul	Direta	Limpeza de máquinas
		Indireta	Consumo dos funcionários
	Água Verde	NA	NA
Beneficiamento	Água Cinza	Direta	NA
		Indireta	Uso de combustíveis
	Água Azul	Direta	Limpeza de máquinas
		Indireta	Consumo dos funcionários

Água Verde	Direta Indireta	NA Uso de lenha
Água Cinza	Direta Indireta	NA Uso de combustíveis Particulados

*NA: Não aplicável

Durante o beneficiamento, verifica-se uma maior quantidade de etapas que requerem um aporte hídrico, com especial destaque para o consumo de água verde derivada do uso de lenha e o potencial de geração de água cinza pela liberação de particulados. Nesse processo, observa-se que está concentrada a maior parte da PH da produção de gesso, bem como os impactos ambientais associados.

Um dos grandes desafios ao se tentar quantificar a Pegada Hídrica na produção de gesso diz respeito à crença que inexistente o consumo de água, por ser um processo a seco. Todavia, de forma indireta o consumo de água nesses processos pode ser extremamente representativo e deve ser mensurado. A quantificação das águas verde e cinza também pode cumprir um importante papel, pressionando a migração da atividade para uma matriz energética mais eficiente e sustentável e para a utilização de filtros visando-se minimizarem as emissões de particulados. Neste sentido, com o presente estudo recomenda-se o aprofundamento de tais observações para o estabelecimento de políticas públicas que denotem sustentabilidade ao setor gesseiro.

4. CONCLUSÕES

A aplicação da Pegada Hídrica na produção do gesso pernambucano representa uma medida da pressão imposta ao meio ambiente no Araripe pernambucano, quantificando-se o comprometimento dos recursos hídricos locais em uma região que tradicionalmente enfrenta graves problemas quanto à disponibilidade de água. A sua quantificação é importante para traçar estratégias de sustentabilidade nesse setor, determinando-se políticas públicas que norteiem a atividade para o uso parcimonioso dos recursos naturais, direta ou indiretamente.

De acordo com a demanda hídrica levantada, verificou-se que a maior parte do consumo de água se dá de forma indireta e na etapa de beneficiamento, embora seja necessário se mensurar esse indicador desde o início da cadeia produtiva. A partir dos

resultados obtidos, observou-se que esse indicador pode ser aplicado para a atividade produtiva em estudo, preenchendo lacunas até então não exploradas.

5. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, S. M. S., MARTINS, L. A. M. A Indústria Extrativa Mineral do Pólo Gesseiro do Araripe e seus Impactos Sócio-Ambientais. **Revista de Geografia**, v. 29, n.1, p. 91-112, 2012.

ARRUDA, G. B., CORREIA, K. V., MENOR, E. A., LINS, V. Contaminações em Sulfato e Cloretos em Águas de Superfície e Subsuperfície na Região de Araripina-PE. **Estudos Geológicos**, v. 22, n.2, p.149-171, 2012.

ARRUDA, G.B., CORREIA, K.V., OLIVEIRA, T. R. S., BRAINER NETO, J.E., ARAÚJO, F. P., CARNEIRO, K. W. F. S. Análise da Qualidade da Água do Riacho Moraes em Área Influenciada pela Produção de Gesso no Município de Araripina, PE – Brasil. **Revista de Geologia**, v. 28, n. 1, p. 27-38, 2015.

BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A. Chemical, mechanical and morphological characterization of gypsum obtained at Araripe, PE, Brazil. **Cerâmica**, v. 60, n. 356, p. 501-508, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132014000400007>

BURRITT, R. L.; CHRIST, K. L. Water risk in mining: Analysis of the Samarco dam failure. **Journal of Cleaner Production**, v. 178, p. 196-205, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.042>

CAZCARRO, I.; DUARTE, R.; SÁNCHEZ-CHÓLIZ, J. Downscaling the grey water footprints of production and consumption. **Journal of Cleaner Production**, v. 132, p. 171-183, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.113>

GERBENS-LEENES, P. W.; HOEKSTRA, A. Y.; BOSMAN, R. The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass. **Water resources and industry**, v. 19, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2017.11.002>

HENRIQUES JUNIOR, M. F. **Potencial de financiamento de eficiência energética: nos setores de cerâmica e gesso no Nordeste**. Instituto Nacional de Tecnologia –INT / MCTI, 2013, 137 p.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. **The water footprint assessment manual**. 1 ed. London: Water Footprint Network, 2011, 224 p.

HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K. **Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources**. 1 ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2008, 220 p.

HOSSEINIAN, S. M.; NEZAMOLESAMI, R. Water footprint and virtual water assessment in cement industry: A case study in Iran. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 2454-2463, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.164>

HU, Y.; HUANG, Y.; TANG, J.; GAO, B.; YANG, M.; MENG, F.; CUI, S. Evaluating agricultural grey water footprint with modeled nitrogen emission data. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 138, p. 64-73, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.020>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades@**. 2017. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=26&search=pernambuco>. Acesso em: 29 de novembro de 2018.

IBIDHI, R.; SALEM, H. B. Water footprint and economic water productivity of sheep meat at farm scale in humid and semi-arid agro-ecological zones. **Small Ruminant Research**, v. 166, p. 101-108, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.06.003>

LAUNIAINEN, S.; FUTTER, M. N.; ELLISON, D.; CLARKE, N.; FINÉR, L.; HÖGBOM, L.; LAURÉN A.; RING, E. Is the water footprint an appropriate tool for forestry and forest products: the fennoscandian case. **Ambio**, v. 43, n. 2, p. 244-256, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0380-z>

MA, X.; YANG, D.; SHEN, X.; ZHAI, Y.; ZHANG, R.; HONG, J. How much water is required for coal power generation: An analysis of gray and blue water footprints. **Science of The Total Environment**, v. 636, p. 547-557, 2018a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.309>

MA, X.; YE, L.; QI, C.; YANG, D.; SHEN, X.; HONG, J. Life cycle assessment and water footprint evaluation of crude steel production: A case study in China. **Journal of environmental management**, v. 224, p. 10-18, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.027>

MANZARDO, A.; REN, J.; PIANTELLA, A.; MAZZI, A.; FEDELE, A.; SCIPIONI, A. Integration of water footprint accounting and costs for optimal chemical pulp supply mix in paper industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 72, p. 167-173, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.014>

MATHIOUDAKIS, V.; GERBENS-LEENES, P. W.; VAN DER MEER, T. H.; HOEKSTRA, A. Y. THE water footprint of second-generation bioenergy: a comparison of biomass feedstocks and conversion techniques. **Journal of Cleaner Production**, v. 148, p. 571-582, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.032>

MEKONNEN, M. M.; GERBENS-LEENES, P. W.; HOEKSTRA, A. Y. The consumptive water footprint of electricity and heat: a global assessment. **Environmental Science: Water Research & Technology**, v. 1, n. 3, p. 285-297, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5EW00026B>

MELO, K. K. S.; LIMA, A. P. C.; SANTANA, M. D. C. C.; ANDRADE, V. D. C. P.; BRAGA, A. L. C.; CORREIA, K.V. Caracterização química e mineralógica dos resíduos da mineração de gipsita no Semiárido Pernambucano. **Holos**, v. 33, n. 6, p. 194-200, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2017.5626>

MENEZES, R.; PÓVOAS, Y. Influência de aditivo retardador de pega na reciclagem da pasta de gesso utilizada como revestimento interno de parede. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 1, p. 55-62, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.25286/rep.v2i1.392>

NORTHEY, S. A.; HAQUE, N.; LOVEL, R.; COOKSEY, M. A. Evaluating the application of water footprint methods to primary metal production systems. **Minerals Engineering**, v. 69, p. 65-80, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.07.006>

NORTHEY, S. A.; MUDD, G. M.; SAARIVUORI, E.; WESSMAN-JÄÄSKELÄINEN, H.; HAQUE N. Water footprinting and mining: where are the limitations and

opportunities?. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 1098-1116, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.024>

OLIVEIRA, F. M. C.; BORGES, L. E. P.; MELO, E. B.; BARROS, M. L. S. C. Características mineralógicas e cristalográficas da gipsita do Araripe. **Holos**, v. 5, p. 71-82, 2012. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2012.1140>

OLIVEIRA, M. A. C.; SHINOHARA, A. H. Experience with natural gas/LPG in the plasterer polo Araripe, PE, Brazil. **Cerâmica**, v. 60, n. 354, p. 243-253, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132014000200013>

RIVERO, A. J.; SATHRE, R.; NAVARRO, J. G. Life cycle energy and material flow implications of gypsum plasterboard recycling in the European Union. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 108, p. 171-181, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.01.014>

SHIROMA, L.; CAMARINI, G.; BERALDO, A. L. Effect of wood particle treatment on the properties of gypsum plaster pastes and composites. **Matéria**, v. 21, n. 4, p. 1032-1044, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160004.0095>

SILVA, J. A. A.; ROCHA, K. D.; FERREIRA, R. L. C.; TAVARES, J. A. Produtividade Volumétrica de Clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 10, p. 240-260, 2013.

SINDUSGESSO- Sindicato das Indústrias do Gesso do Estado de Pernambuco. **Polo Gesseiro**. 2014. Disponível em: http://www.sindusgesso.org.br/polo_gesseiro.asp. Acesso em: 29 de novembro de 2018.

XU, M.; LI, C.; WANG, X.; CAI, Y.; YUE, W. Optimal water utilization and allocation in industrial sectors based on water footprint accounting in Dalian City, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 176, p. 1283-1291, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.203>

ZHANG, F.; ZHAN, J.; LI, Z.; JIA, S.; CHEN, S. Impacts of urban transformation on water footprint and sustainable energy in Shanghai, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 190, p. 847-853, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.157>

CAPÍTULO 3

PEGADAS DE CARBONO E ECOLÓGICA DA CALCINAÇÃO DO GESSO NO ESTADO DE PERNAMBUCO (BRASIL)³

RESUMO: O estado de Pernambuco é o principal produtor nacional de gesso, responsável por quase toda a produção brasileira desse produto. Diversos impactos são relatados na cadeia produtiva do gesso, com destaque para as expressivas emissões de CO₂ durante o processo de calcinação do minério bruto. Nesse contexto, este artigo associou o uso de dois indicadores ambientais, a Pegada de Carbono e a Pegada Ecológica, para essa etapa do processo produtivo. Adotou-se como base a produção de 4.500.000 t ano⁻¹ de gesso e o uso de quatro diferentes matrizes energéticas: lenha, coque de petróleo, óleo combustível e gás natural. Observaram-se valores significativos de emissões de CO₂ com valores anuais de 914187,054 toneladas. A Pegada de Carbono variou de 32,844 a 244,319 kg CO₂ t⁻¹ de gesso calcinado a depender da fonte energética utilizada. No entanto, devido ao predomínio do uso de lenha, a Pegada de Carbono total foi de 237,104 kg CO₂ t⁻¹. As áreas biologicamente produtivas requeridas para a absorção de CO₂ liberadas nesse processo, expressas na forma de Pegada Ecológica, somaram 207.505,227 gha, o equivalente a 0,0538 gha t⁻¹ de gesso calcinado. Com base na diferença entre e a biocapacidade local (163.009,38 gha) e a Pegada Ecológica, observou-se um cenário de déficit ecológico (-44495,85 gha). Os resultados evidenciaram a insustentabilidade desse setor produtivo e a urgência na sua adequação visando-se a melhoria da qualidade ambiental.

Palavras-chave: Indicadores de sustentabilidade; Desenvolvimento sustentável; Beneficiamento da gipsita.

CARBON AND ECOLOGICAL FOOTPRINTS OF THE GYPSUM CALCINATION IN THE STATE OF PERNAMBUCO (BRAZIL)

ABSTRACT: The state of Pernambuco, Northeast Brazil, is the main national producer of gypsum, responsible for almost all Brazilian production of this product. Several impacts are reported in the gypsum production chain, especially the significant CO₂ emissions during the crude ore calcination process. In this context, in an innovative way, this paper associated the use of two environmental indicators; Carbon Footprint and Ecological Footprint, for this stage of the productive process. A production of 4,500,000 t year⁻¹ of gypsum and the use of four different energy matrices: firewood, petroleum coke, fuel oil and natural gas was taken as a basis. Significant values of CO₂ emissions were observed, with annual values of 914187.054 tons. The Carbon Footprint ranged from 32.844 to 244.319 kg CO₂ t⁻¹ of calcined gypsum depending on the energy source used, however, due to the predominance of firewood use, the total Carbon Footprint was 237.104 kg CO₂ t⁻¹. The biologically productive areas required for the absorption of CO₂ released in this process, expressed as Ecological Footprint, amounted to 207,505.227 gha, the equivalent of 0.0538 gha / t of calcined gypsum. Based on the difference between and the local biocapacity (163,009.38 gha) and the Ecological Footprint, an ecological deficit scenario (-44495.85 gha) is observed. The results show the unsustainability of this productive sector and the urgency in its suitability aiming at

³ Trabalho em processo de tradução para posterior submissão em periódico com Qualis ≥ B1–Engenharias I.

the improvement of environmental quality.

Keywords: Sustainability indicators; Sustainable development; Improvement of gypsum.

1. INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas têm gerado uma elevada liberação de gases de efeito estufa (GEE), principalmente o dióxido de carbono (CO₂), que ocupa cerca de 77% do montante de GEE (Rahman et al., 2017). Esse cenário tem despertado a atenção global a cerca das mudanças climáticas, notadamente decorrentes dos efeitos da aceleração do aquecimento global. Durante o período de 1970 a 2010, os levantamentos do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) mostram um aumento superior a 80% nas emissões de GEE, ao mesmo tempo em que as pressões antrópicas sobre o meio ambiente se acentuam. Dessa forma, a redução das emissões de GEE é um tema em constante debate na comunidade internacional (Chen; Chen, 2017).

Diversos estudos vêm sendo desenvolvidos buscando-se a identificação de fontes e sumidouros desses GEE, em amplas escalas espaciais e aplicações. Nesses trabalhos procuram-se entender os perfis dessas emissões, podendo ser pautados em produtos específicos, indivíduos, cidades ou países (Robinson et al., 2018). Nesse mesmo sentido, nas últimas décadas, diversos instrumentos estão sendo desenvolvidas para descrever e quantificar os efeitos diretos e indiretos da apropriação humana sobre o meio e os impactos decorrentes destes. Entre esses métodos destacam-se a Pegada Ecológica (EF) e a Pegada de Carbono (PC) (Patterson et al., 2017).

Essas Pegadas são indicadores que têm como base o consumo de produtos e/ou serviços e a relação com os impactos ambientais, diagnosticando-se os processos e os impactos no decorrer da cadeia produtiva, além de mensurar o uso do capital natural e/ou a geração de emissões oriundas da atividade (Simas et al., 2017).

A Pegada de Carbono é um indicador muito frequentemente relatado em estudos de avaliação do ciclo de vida (ACV), sendo definida pela primeira vez por Høgevoid (2003). Esse indicador está ligado diretamente à quantificação da liberação de CO₂ ou GEE emitidos por um processo ou produto, refletindo assim no potencial de contribuição para o aquecimento global ou de mudança climática (Kavehei, 2018).

O conceito de Pegada Ecológica foi introduzido na década de 1990 por Mathis Wackernagel e William Rees (Wackernagel; Rees, 1996), sendo definida como a área

terrestre biologicamente produtiva necessária para fornecer os recursos bióticos consumidos pela população humana e absorver as emissões de carbono decorrentes das atividades antrópicas. Dentro dos componentes da Pegada Ecológica existem seis tipos de usos da terra, que incluem terra cultivável, pastagem, terra construída, mar, áreas florestais e áreas de absorção de carbono.

A determinação da PC de um produto é um importante indicador ao se analisar o seu potencial de geração de impacto ambiental sobre o meio, constituindo-se num primeiro passo para a implementação de ações de sustentabilidade na cadeia produtiva, principalmente quando se busca a redução do lançamento de gases de efeito estufa. A quantificação desse indicador também serve como um norteador do desenvolvimento da consciência ambiental entre as partes envolvidas, além de demonstrar a importância de estudos de ciclo de vida (Onat et al., 2014; Coelho Junior et al., 2018).

Grande parte dos estudos de degradação ambiental decorrentes de atividades que potencialmente contribuem para o aquecimento global restringe-se apenas a quantificação das emissões de CO₂, sendo ainda iniciais os estudos que associam esses valores com indicadores como a Pegada Ecológica. Dessa forma, torna-se importante a junção desses dois parâmetros (Bello et al., 2018).

A determinação da EF na literatura mundial está normalmente atrelada a países ou cidades (Lu; Chen, 2017; Rashid et al., 2018; Solarin; Bello, 2018), buscando-se determinar o grau de sustentabilidade destes. Estudos a cerca da EF, de processos produtivos, são mais recentes e voltados para setores estratégicos, como eletricidade (Bello et al., 2018), parques industriais (Fan et al., 2017) e setores da construção (Martínez-Rocamora et al., 2017; Li; Wen, 2018).

No Brasil, estudos de Pegada Ecológica ainda são bem pontuais, existindo diversas lacunas a serem compreendidas. Entre estas, a quantificação dos impactos de diversas atividades produtivas, como a produção de gesso. O estado de Pernambuco é responsável por quase a totalidade da produção brasileira desse produto (Silva, 2013). Na produção desse material, o minério bruto, a gipsita, é submetido a altas temperaturas para sofrer um processo de desidratação e transformar-se no produto final, o gesso. Nessa etapa, que recebe o nome de calcinação, estão as principais emissões de CO₂ de toda a etapa de produção (Fořt; Černý, 2018).

Nesse contexto, este trabalho é pioneiro no Brasil ao trabalhar o uso conjunto da Pegada de Carbono e Pegada Ecológica para a etapa de fabricação de um produto. Objetivou-se assim, quantificar esses dois indicadores na etapa de calcinação do gesso

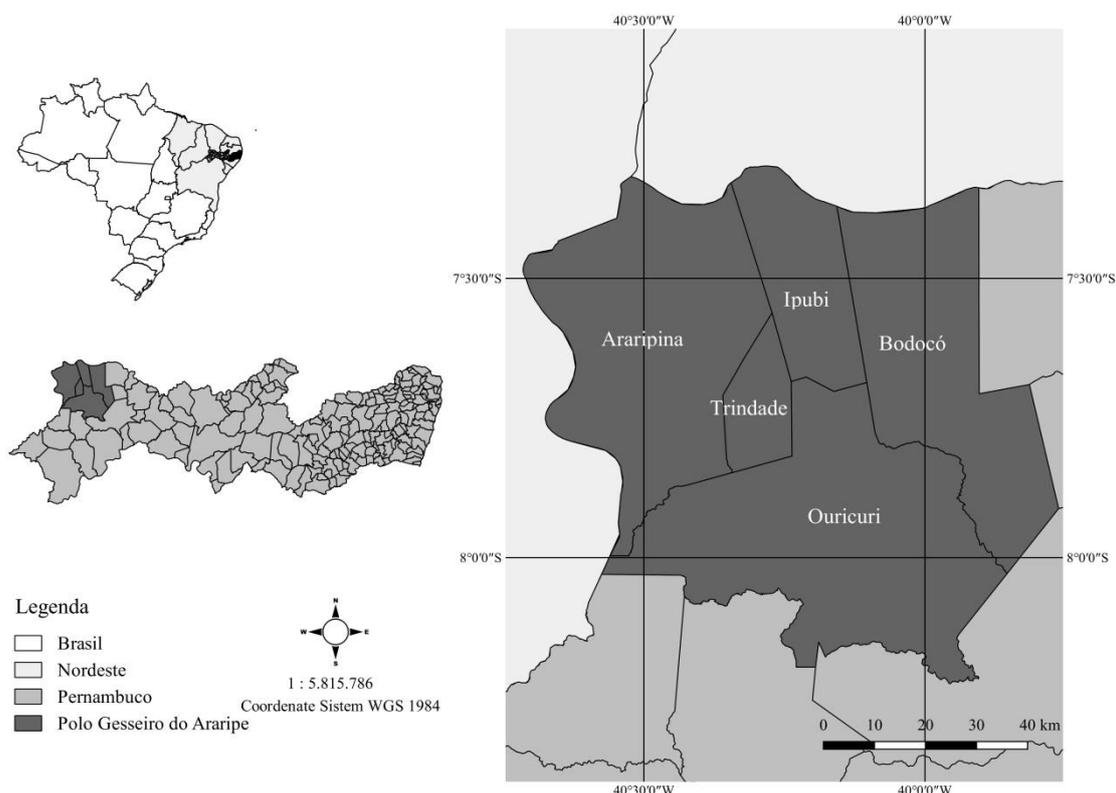
produzido no Polo Gesseiro de Pernambuco, buscando-se determinar o grau de impacto dessa atividade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

A produção de gesso em Pernambuco está concentrada em cinco municípios do Araripe; Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade. Essa região compõe o Polo Gesseiro do Araripe, onde se produz cerca de 97% do gesso brasileiro (Silva, 2013).

Figura 1. Localização do Polo Gesseiro de Pernambuco



As atividades de extração, beneficiamento e produção de subprodutos do gesso representam a principal fonte de geração de empregos e renda nessa região. Até 2014 o Polo detinha 42 minas de gipsita, 174 indústrias de calcinação e 748 indústrias de pré-moldados em funcionamento. O faturamento do setor é de aproximadamente R\$ 1,4 bilhão em receitas, sendo responsável pela geração de 13,9 mil empregos diretos e 69 mil indiretos (Sindusgesso, 2014).

A fonte de maior impacto na cadeia produtiva do gesso é a etapa de calcinação, assim, foram quantificadas as entradas e saídas de insumos nesse processo. O Polo

Gesseiro do Araripe é carente de estudos atualizados que contemplem informações robustas a cerca do seu real consumo de matriz energética. No entanto, tomando-se como base a crise econômica que se abateu sobre o país, repercutindo negativamente no crescimento do setor, a utilização do banco de dados levantados por Henriques Júnior (2013) para a produção 2011-2012 (Tabela 1), permite a realização de estudos condizentes com a demanda energética atual desse segmento produtivo.

Tabela 1. Participação de insumos energéticos no beneficiamento de gipsita (com base na produção 2011–2012).

Insumo energético empregado	Produção de gesso (10³ t)	Consumo específico de energia	Consumo	Participação (%)
Lenha	4.275,00	0,6 st/t	2.565.000 st	96,6
Coque de petróleo	180	40 kg/t	6.744 t	2,9
Óleo combustível	22,5	35 kg/t	738 t	0,3
GLP / GN	22,5	17 kg/t	359 t	0,2
Total	4500,00	-	-	100,00

Adaptado de Henriques Júnior (2013).

A quantidade de lenha foi transformada de estéreo (st) para tonelada (t), uma vez que as metodologias a serem utilizadas posteriormente requerem valores nessa unidade. Para tal, utilizou-se a relação proposta pelo Ministério do Meio Ambiente (2007), no diagnóstico florestal do Araripe pernambucano, em que se convencionou que para as condições locais, 1 (um) estéreo de lenha equivale a 0,340 toneladas de lenha. Nesse mesmo sentido, foram considerados para fins de liberação de CO₂ 85% do total de lenha utilizada, vistos que os outros 15% são oriundos de planos de manejo florestal (Henriques Júnior, 2013), onde as emissões de CO₂ são neutralizadas no próprio ciclo de produção (Okoko et al., 2017).

2.2. Pegada de Carbono

Para a determinação da PC no processo de calcinação, utilizou-se o modelo sugerido por Dalir et al. (2018), sendo esse indicador obtido pela razão entre a quantidade de CO₂ gerado e o total de bens produzidos:

$$PC = \frac{\text{Total de emissões de } CO_2 \text{ (kg)}}{\text{Quantidade do produto (t)}}$$

A PC inicialmente foi calculada individualmente para cada tipo de insumo energético. O total de emissões de dióxido de Carbono também foi mensurado de forma isolada, para tal utilizou-se a metodologia proposta por Vieira et al. (2005):

$$EC = V \cdot PCI \cdot 4.186,8 \text{ (J)}$$

$$EM = EC \cdot OX \cdot FE \text{ (t C)}$$

$$EM = EC \cdot OX \cdot FE \cdot 3,67 \text{ (t } CO_2\text{)}$$

Onde:

EC = Energia contida (kcal)

V = Volume consumido (kg)

EM = Emissão do C (tC)

EM = Emissão de CO₂ (tCO₂)

OX = Fator de oxidação

FE = Fator de emissão de C (tC/tJ)

PCI = Poder calorífico inferior (kcal/kg)

As variáveis requeridas para o cálculo das emissões de CO₂ estão atreladas ao poder calorífero inferior, ao fator de oxidação e ao fator de emissão (Tabela 2). Como no levantamento feito por Henriques Júnior (2013) não existe diferenciação entre as quantidades de gás natural e gás liquefeito de petróleo (GLP) utilizadas, logo, optou-se por considerar apenas o gás natural, visto ser esse o mais representativo para o setor.

Tabela 2. Propriedades físico-químicas das matérias-primas estudadas

Matéria-Prima	Poder calorífico inferior (kcal/kg)	Fator de oxidação	Fator de emissão (tC/tJ)
Lenha	3.100	28,9	0,87
Coque de petróleo	8.550	27,5	0,99
Óleo combustível	9.590	21,1	0,99
Gás Natural	8.800	15,3	0,995

Adaptado de IPCC (2006), MCTI (2010).

2.3. Pegada Ecológica

A Pegada Ecológica da etapa de calcinação foi calculada levando em consideração a área necessária para absorver o CO₂ emitido por esse processo. Dessa forma, adotaram-se como sumidouros as florestas e o oceano (Mikulčić et al., 2016). Utilizou-se o modelo proposto por Martínez-Rocamora et al. (2016):

$$EF_C = \frac{C_{comb} \cdot F_{em} \cdot (1 - A_{oc})}{A_f} \cdot EQF_C$$

Onde:

EF_C = Pegada Ecológica do consumo de combustíveis nessa etapa (gha / ano);

C_{comb} = Consumo de cada tipo de combustível por ano (t/ano);

F_{em} = Fator de emissão de cada tipo de combustível (t CO₂/ t);

A_{oc} = Porcentagem de absorção de CO₂ pelos oceanos (0,28) (Mikulčić et al., 2016);

A_f = Taxa de sequestro de CO₂ da biomassa vegetal (0,4 kg CO₂ m⁻² ano⁻¹ (Wackernagel et al., 2005);

EQF_C = Fator de equivalência das terras de absorção de carbono (1,26 gha/wha) (Mikulčić et al., 2016).

2.4. Biocapacidade

Para o cálculo da biocapacidade foram consideradas as áreas locais disponíveis para assimilação do dióxido de carbono liberado durante o processo de calcinação da gipsita. Embora diversos ambientes tenham a capacidade de absorver e armazenar CO₂, usualmente nesse tipo de estudo se toma como referência as áreas florestais, uma vez que esses ecossistemas apresentam o mais significativo potencial de sequestro de carbono e capacidade de armazenamento a longo prazo (Pan et al., 2011). Dessa forma, levantaram-se as áreas de Caatinga arbórea nos municípios do Polo Gesseiro, usando-se como base o Diagnóstico Florestal do Araripe (MMA, 2007). Para a determinação da biocapacidade, utilizou-se a equação proposta por Wackernagel e Riss (1996):

$$BC = \sum A \cdot Fe \cdot Fp \text{ (gha)}$$

Onde:

BC = Biocapacidade (gha)

A = Área local bioprodutiva existente (ha)

Fe = Fator de equivalência das terras de absorção de carbono (1,26 gha/wha)
(Mikulčić et al., 2016);

Fp = Fator de produtividade (0,4 kg CO₂ m⁻² ano⁻¹) (Wackernagel et al., 2005).

2.5. Saldo Ecológico

O saldo ecológico expressa a situação ambiental de uma dada região perante uma pressão por recursos. A depender do resultado, pode indicar um superávit ou um déficit ecológico. Esse parâmetro foi determinado através da equação adaptada de Chu et al. (2017):

$$SD = BC - EF$$

Onde:

SD = Saldo Ecológico;

BC = Biocapacidade da área;

EF = Pegada Ecológica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o período de estudo (2011-2012), a geração de CO₂ decorrente da etapa de calcinação de gipsita foi de 914.187,054 toneladas. Desses, 97,11% foram oriundos da utilização de lenha (Tabela 3).

Tabela 3. Emissões de CO₂ na etapa de calcinação de gipsita em Pernambuco.

Matriz Energética	Emissões de CO₂ t
Lenha	887.794,154
Coque de petróleo	24.121,252
Óleo combustível	2.271,647
Gás Natural	738,992
Total	914.187,054

Segundo Coelho Junior et al. (2018), alguns estudos na literatura científica desconsideram as emissões de CO₂ provenientes da queima de lenha. Todavia, deve-se considerar que, sem a devida recuperação florestal das áreas de onde esse material foi extraído, as emissões biogênicas de dióxido de carbono apresentam o mesmo potencial de aquecimento global que o CO₂ oriundo da queima de fontes fósseis (Okoko et al., 2017). Essa situação é verificada no Polo Gesseiro do Araripe, onde a lenha é extraída, em sua grande maioria, da Caatinga, sem nenhum grande esforço para a recuperação ou manejos das áreas exploradas, panorama que é um relevante fator limitante para esse setor produtivo.

A utilização de gás natural, insumo que representa 0,2 % da matriz energética, foi responsável pela emissão de 738,992 toneladas de dióxido de carbono, o que corresponde a 0,0008% do quantitativo total. Tais valores demonstram a menor relação entre quantidade utilizada e a emissão de CO₂ para essa matriz. A maioria dos países produtores de gesso usa o gás natural como fonte energética na etapa de calcinação (Gürtürk; Oztop, 2016; Suárez et al., 2016), o que se deve, principalmente, ao seu elevado rendimento energético e ao custo e benefício quando comparado às outras matrizes. Ademais, esse combustível apresenta um baixo teor de carbono, devido à sua maior relação hidrogênio-carbono, o que implica em um menor lançamento de CO₂ (Johnson et al., 2017).

Embora na literatura não tenham sido observados estudos que quantifiquem as emissões de CO₂ na etapa de calcinação de outras regiões produtoras de gesso no mundo, os resultados aqui encontrados são elevados, principalmente ao se tomar como base de comparação as emissões anuais de cidades de países desenvolvidos, como Leicester, 13ª maior cidade do Reino Unido, onde o lançamento de dióxido de carbono é de, aproximadamente, 850.744 toneladas anuais (Allinson et al., 2016).

Dentre os insumos, a utilização de lenha apresentou a maior Pegada de Carbono, com a liberação de 244,319 kg de CO₂ para cada tonelada de gesso calcinado. Esse alto valor e a predominância do uso dessa matriz como fonte energética impulsionaram a Pegada de Carbono da calcinação, que foi de 237,104 kg CO₂ t⁻¹ de gesso.

Em um dos raros trabalhos com a Pegada de Carbono da cadeia produtiva de gesso, Fořt e Černý (2018) quantificaram para a calcinação de gesso na República Tcheca emissões de 76,3 kg CO₂ t⁻¹ de gesso, valores bem inferiores aos aqui encontrados (Tabela 4). Entretanto, um fato que deve ser destacado é a utilização do gás natural como principal fonte energética na calcinação do gesso tcheco; assim, ao se

comparar a PC do gesso produzido no Brasil com essa mesma matriz (32,844 kg CO₂ t⁻¹ de gesso), percebe-se uma diferença de 132%. A menor PC do gesso pernambucano utilizando gás natural pode ser atribuída à pureza do minério, que em Pernambuco é de 88-98%, sendo considerada a gipsita de mais elevada qualidade do mundo (Oliveira; Shinohara, 2014), enquanto a pureza desse mesmo minério na República Tcheca varia de 60-85% (Fořt; Černý, 2018), necessitando assim de maior tempo de beneficiamento, conseqüentemente maior gasto de energia e liberação de CO₂.

Tabela 4. Pegada de Carbono (PC) por cada tipo de matriz energética e total da etapa de calcinação de gipsita em Pernambuco.

Matriz Energética	PC kg CO₂ t⁻¹ de gesso
Lenha	244,319
Coque de petróleo	134,007
Óleo combustível	100,962
Gás Natural	32,844
Total	237,104

O uso de coque de petróleo e óleo combustível nesse processo também ocasionou uma PC significativa, com valores de 134,007 e 100,962 kg CO₂ t⁻¹ de gesso calcinado, respectivamente. O coque é uma das fontes energéticas mais impactantes do meio ambiente, representando um potencial de geração de carbono e poluição maior até que o carvão e o petróleo bruto. A utilização desse material tem crescido em alguns países, principalmente na China, impulsionado pela alta demanda por energia e baixo preço no mercado. Todavia, ações buscando-se a redução do uso dessa matriz estão sendo desenvolvidas, alicerçadas pela pressão pela diminuição das emissões de dióxido de carbono (Shan et al., 2018).

A redução da Pegada de Carbono de produtos ou serviços vem norteando estudos ao redor do mundo (Huang et al., 2017; Vogler-Finck et al., 2018). Deve-se considerar que dentro da cadeia produtiva do gesso, embora a etapa de calcinação apresente a maior contribuição no lançamento de CO₂, motivo pelo qual é o enfoque desse trabalho, as etapas de extração, transporte e moagem do minério de gipsita também liberam dióxido de carbono; logo, a Pegada de Carbono geral dessa cadeia tende a ser bem maior. Apesar disso, levando-se em consideração o nível tecnológico empregado nesse

segmento e a necessidade de se manterem as etapas citadas anteriormente, a principal frente para estudos a cerca da redução da PC do gesso pernambucano deve se concentrar na matriz energética utilizada na calcinação.

Verifica-se a potencialidade da utilização do gás natural em substituição à lenha como meio para o alcance de melhores métricas ambientais, refletidas na diminuição da PC da calcinação de gipsita. Esse cenário de migração, no entanto, torna-se complexo pela ausência de um gasoduto entre as fontes de gás natural e as indústrias de calcinação. A utilização desse combustível até então vinha sendo realizada por meio de transporte por caminhões pressurizados, encarecendo assim o produto final e tornando o gás natural menos competitivo do ponto de vista econômico, quando comparado com a lenha. Ainda que apresente ampla vantagem no tocante a menores valores de emissão de CO₂, quando comparado a outros combustíveis fósseis, como carvão e petróleo, deve-se considerar que o gás natural é uma fonte de energia não renovável; assim, em cadeias que busquem adequações rumo à sustentabilidade de seus produtos, o uso de energia renovável deve ser priorizado (Onat et al., 2014).

Embora a utilização de lenha como fonte energética tenha apresentando a maior Pegada de Carbono dentre as matrizes trabalhadas, essa problemática poderia ser amenizada caso a lenha empregada fosse oriunda de áreas de reflorestamento ou de manejo florestal. Assim, as emissões de CO₂ seriam neutralizadas pelo sequestro de carbono no crescimento de novas árvores nesse sistema (Morris, 2017). Essa visão vem ganhando força a nível global, norteados estudos quanto à substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis como a biomassa florestal (Andrić et al., 2015).

A região do Araripe pernambucano, onde está inserido o Polo Gesseiro, apresenta elevado potencial para a implantação de planos de manejo florestal e programas de reflorestamento; no entanto, essas iniciativas na maioria das vezes esbarram em aspectos das próprias legislações ambiental e fundiária brasileira, ou na necessidade dos empresários de obterem lenha em curto prazo, o que no caso do reflorestamento, na maioria das vezes não é possível (Henriques Júnior, 2013; Silva, 2013). Esse panorama tem contribuído para a não adequação desse segmento frente a desafios atuais como a ineficiência.

Tradicionalmente, o uso de lenha tem se constituído como a principal matriz energética térmica no Nordeste do Brasil, situação que vem desde a colonização dessa área e foi maximizada com a crise do petróleo na segunda metade do século XX, cenário que levou as indústrias locais a reduzirem ou abandonarem o uso de

combustíveis fósseis e migrarem para fontes disponíveis localmente, como a lenha e o carvão (Coelho Junior et al., 2018). Esse uso massivo sem a devida recuperação das áreas exploradas tem levado à drástica redução dos estoques de lenha em várias áreas dessa região, contribuindo para o aprofundamento de diversos problemas ambientais.

Dessa forma, torna-se explícito que o uso de lenha como principal matriz energética para a calcinação do gesso pernambucano não se constitui como uma adequação ambiental, mas sim, como uma estratégia de redução de custos. Por apresentar um aspecto extrativista e não regenerativo, o modo atual de uso dessa fonte, não contribui de forma efetiva para o sequestro do CO₂ liberado nas etapas de produção, estando contribuindo para o aquecimento global como demonstrado através dos dados de emissões de CO₂ e PC.

Registrou-se para o período de estudo uma Pegada Ecológica de 207.505,227 gha. Desta, 97,03% (201.351,714 gha) foram oriundas da queima de lenha na calcinação (Tabela 5). As outras fontes energéticas utilizadas contribuíram em menor grau para a Pegada Ecológica total, visto suas participações na matriz energética também serem menores, bem como seus potenciais de liberação de CO₂. Destaca-se que maiores valores de PE são indicativos de maior impacto antrópico sobre o ecossistema local e vice-versa (Chu et al., 2017).

Tabela 5. Pegada Ecológica (EF) anual e por tonelada de gesso na etapa de calcinação de gipsita em Pernambuco.

Matriz Energética	PE gha/ano	PE gha t⁻¹ de gesso
Lenha	201.351,714	0,0554
Coque de petróleo	5.470,700	0,0304
Óleo combustível	515,210	0,0229
Gás Natural	167,603	0,0074
Total	207.505,227	0,0538

Deve-se considerar que, dentro da metodologia de cálculo da Pegada Ecológica, os resultados aqui explicitados são denominados de Pegada de Carbono, todavia, diferem do termo Pegada de Carbono discutido anteriormente. O primeiro se refere à quantidade de emissões de CO₂ ou outros gases de efeito estufa decorrentes da realização de um processo ou obtenção de um produto. Já o segundo diz respeito às

áreas requeridas para assimilar esse CO₂; logo, percebe-se que um pode ser facilmente convertido no outro (Mancini et al., 2016), como é a proposta desse trabalho.

O global hectare (gha), unidade de medida da Pegada Ecológica, permite a comparação a nível mundial dos resultados encontrados dos mais diversos produtos ou nações, o que é possível graças à utilização dos fatores de equivalência dos tipos de terras produtivas dentro da metodologia padrão da EF (Martínez-Rocamora et al., 2017). A simplicidade na interpretação e a veiculação dos resultados tornou a PE amplamente disseminada no mundo, constituindo-se num importante indicador para a aplicação de políticas de redução do impacto ambiental (Martínez-Rocamora et al., 2016).

Ao se analisar a EF por tonelada de gesso calcinado, verifica-se a elevada diferença entre a utilização de lenha e gás natural, que é aproximadamente 7,5 vezes maior (Tabela 4). Tal diferença está associada diretamente à eficiência energética dessas fontes e a liberação de CO₂ atrelada. A Pegada Ecológica total dessa etapa foi de 0,0538 gha/t de gesso, superior ao observado por Musikavong e Gheewala (2017) para a etapa de produção de derivados primários da borracha no sudoeste da Tailândia, onde foram reportados valores médios de 0,038 gha t⁻¹.

Os valores da EF observados para a calcinação de gesso representam a quantidade de área florestal biodisponível necessária para absorver e sequestrar as emissões de dióxido de carbono emitidas por essa etapa e que não são absorvidas pelos oceanos (Mancini et al., 2016). Assim, conhecer a biocapacidade da área de estudo é imprescindível para se determinar a real pressão sobre o meio ambiente local e o comprometimento da sua capacidade de suporte.

A biocapacidade dos municípios do Polo Gesseiro foi avaliada em 163.009,38 gha (Tabela 6). Dessa forma, levando em consideração a EF da etapa de calcinação, percebe-se que a região apresenta um saldo ecológico de -44495,85 gha. Esses resultados configuram um déficit ecológico de 21,44%, evidenciando que a quantidade de recursos requeridos está fora da faixa de recursos disponíveis, caracterizando assim uma pressão insustentável sobre o ecossistema (Chu et al., 2017).

Tabela 6. Biocapacidade, Pegada Ecológica e Saldo Ecológico da etapa de calcinação de gipsita no Polo Gesseiro do Araripe.

Parâmetros	Área (gha)
Biocapacidade	163.009,38
Pegada Ecológica	207.505,23
Saldo Ecológico	- 44495,85

Um fato que deve ser considerado é que além da presença de um cenário de déficit, a tendência é de piora desse quadro, visto que a lenha usada na calcinação em grande parte é extraída dessas áreas bioproductivas, representadas pela Caatinga. Tem-se, assim, uma amplificação da interação entre as pressões antrópicas, contribuindo ainda mais para a piora da qualidade ambiental local. Como evidenciam Galli et al. (2014), quando a extração de madeira é mais eficiente que a taxa de crescimento das árvores nesses ambientes, o potencial de sequestro de dióxido de carbono também é reduzido, levando ao acúmulo de carbono na atmosfera e cooperando para problemas como o aquecimento global.

Outro ponto que deve ser evidenciado é que, nos cinco municípios pernambucanos produtores de gesso, outras ações humanas são responsáveis por liberar expressivas quantidades de CO₂, como o uso de combustíveis fósseis nos meios de transporte, outras atividades industriais, a decomposição de resíduos sólidos e as demais etapas dentro da cadeia produtiva do gesso. Percebe-se então, que nessa região, o déficit ecológico é bem maior.

A redução da Pegada Ecológica da etapa de calcinação de gesso em Pernambuco passa, obrigatoriamente, por adequações em sua matriz energética. Dessa forma, o uso de fontes energéticas renováveis e com baixo potencial de liberação de CO₂ deve ser uma premissa para que esse setor possa produzir um material mais sustentável, bem como minimizar o atual estado de degradação da atividade. Como foi evidenciado, o uso de uma matriz sustentável, acarretaria uma redução conjunta de Pegada de Carbono e Pegada Ecológica, levando o gesso pernambucano a alcançar mercados mais exigentes e competitivos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, uma análise conjunta de Pegada de Carbono e Pegada Ecológica da etapa de calcinação do gesso pernambucano foi empregada. Os resultados evidenciaram uma elevada Pegada de Carbono, com valor de 237,104 kg CO₂ t⁻¹ de gesso, que foi impulsionada pelo uso de lenha não manejada ou não reflorestada, que representa a quase totalidade da matriz energética.

A Pegada Ecológica revelou valores expressivos, com uma EF total de 0,0538 gha/t de gesso. Observou-se que a etapa de calcinação, isoladamente, já é responsável por consumir toda a biocapacidade local, gerando um déficit ecológico de -44495,85 gha e comprometendo a sustentabilidade dessa atividade e da região em que está inserida.

Na busca de melhores métricas ambientais e redução dos indicadores analisados nesse estudo, ações voltadas para a utilização de uma matriz energética sustentável devem ser consideradas.

5. REFERÊNCIAS

- ALLINSON, D.; IRVINE, K. N.; EDMONDSON, J. L.; TIWARY, A.; HILL, G., MORRIS, J. et al. Measurement and analysis of household carbon: The case of a UK city. **Applied energy**, v. 164, p. 871-881, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.054>
- ANDRIĆ, I.; JAMALI-ZGHAL, N.; SANTARELLI, M.; LACARRIÈRE, B.; LE CORRE, O. Environmental performance assessment of retrofitting existing coal fired power plants to co-firing with biomass: carbon footprint and energy approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 103, p. 13-27, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.019>
- BELLO, M. O.; SOLARIN, S. A.; YEN, Y. Y. The impact of electricity consumption on CO₂ emission, carbon footprint, water footprint and ecological footprint: The role of hydropower in an emerging economy. **Journal of Environmental Management**, v. 219, p. 218-230, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.101>

CHEN, J. -X.; CHEN, J. Supply chain carbon footprinting and responsibility allocation under emission regulations. **Journal of Environmental Management**, v. 188, p. 255-267, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.006>

CHU, X.; DENG, X.; JIN, G.; WANG, Z.; LI, Z. Ecological security assessment based on ecological footprint approach in Beijing-Tianjin-Hebei region, China. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 101, p. 43-51, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2017.05.001>

COELHO JUNIOR, L. M.; MARTINS, K. L. C.; CARVALHO, M. Carbon Footprint Associated with Firewood Consumption in Northeast Brazil: An Analysis by the IPCC 2013 GWP 100y Criterion. **Waste and Biomass Valorization**, v. 9, p. 1-9, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0282-1>

DALIR, F.; MOTLAGH, M. S.; ASHRAFI, K. A dynamic quasi comprehensive model for determining the carbon footprint of fossil fuel electricity: A case study of Iran. **Journal of Cleaner Production**, v. 188, p. 362-370, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.274>

FAN, Y.; QIAO, Q.; XIAN, C.; XIAO, Y.; FANG, L. A modified ecological footprint method to evaluate environmental impacts of industrial parks. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 125, p. 293-299, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.003>

FOŘT, J.; ČERNÝ, R. Carbon footprint analysis of calcined gypsum production in the Czech Republic. **Journal of Cleaner Production**, v. 177, p. 795-802, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.002>

GALLI, A.; WACKERNAGEL, M.; IHA, K.; LAZARUS, E. Ecological footprint: Implications for biodiversity. **Biological Conservation**, v. 173, p. 121-132, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.10.019>

GÜRTÜRK, M.; OZTOP, H. F. Exergoeconomic analysis of a rotary kiln used for plaster production as building materials. **Applied Thermal Engineering**, v.104, v. 5, p. 486-496, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.05.106>

HENRIQUES JUNIOR, M. F. **Potencial de financiamento de eficiência energética: nos setores de cerâmica e gesso no Nordeste**. Instituto Nacional de Tecnologia –INT / MCTI, 2013, 137 p.

HØGEVOLD, N.M. A corporate effort towards a sustainable business model: A case study from the Norwegian furniture industry. **International Journal of Operations and Production Management**, v.23, n. 4, p. 392-400, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1108/09555341111145771>

HUANG, W.; LI, F.; CUI, S. H.; HUANG, L.; LIN, J. Y. Carbon Footprint and Carbon Emission Reduction of Urban Buildings: A Case in Xiamen City, China. **Procedia Engineering**, v. 198, p. 1007-1017, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.146>

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories** (2006 Guidelines) v.2 – Energy. IGES. Tokyo, Japan. 2006.

JOHNSON, D. R.; HELTZEL, R., NIX, A. C.; CLARK, N.; DARZI, M. Greenhouse gas emissions and fuel efficiency of in-use high horsepower diesel, dual fuel, and natural gas engines for unconventional well development. **Applied Energy**, v. 206, p. 739-750, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.234>

KAVEHEI, E.; JENKINS, G. A.; ADAME, M. F.; LEMCKERT, C. Carbon sequestration potential for mitigating the carbon footprint of green stormwater infrastructure. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 94, p.1179-1191, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.002>

LU, Y.; CHEN, B. Urban ecological footprint prediction based on the Markov chain. **Journal of Cleaner Production**, v.163, p.146-153, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.034>

MANCINI, M. S.; GALLI, A.; NICCOLUCCI, V.; LIN, D.; BASTIANONI, S.; WACKERNAGEL, M.; MARCHETTINI, N. Ecological Footprint: Refining the carbon Footprint calculation. **Ecological Indicators**, v. 61, n. 2, p. 390-403, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.040>

MARTÍNEZ-ROCAMORA, A.; SOLÍS-GUZMÁN, J.; MARRERO, M. Ecological footprint of the use and maintenance phase of buildings: Maintenance tasks and final results. **Energy and Buildings**, v. 155, p. 339-351, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.038>

MARTÍNEZ-ROCAMORA, A.; SOLÍS-GUZMÁN, J.; MARRERO, M. Toward the Ecological Footprint of the use and maintenance phase of buildings: Utility consumption and cleaning tasks. **Ecological Indicators**, v. 69, p. 66-77, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.007>

MCTI - Ministério da Ciência e Tecnologia. **Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem Top-Down**. Relatórios de Referência: Setor Energia. 2º Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Brasília, DF: MCTI, 2010. 115 p.

MIKULČIĆ, H.; CABEZAS, H.; VUJANOVIĆ, M.; DUIĆ, N. Environmental assessment of different cement manufacturing processes based on Emergy and Ecological Footprint analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 130, p. 213-221, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.087>

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Região do Araripe: Diagnóstico Florestal**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 92 p.

MORRIS, J. Recycle, Bury, or Burn Wood Waste Biomass?: LCA Answer Depends on Carbon Accounting, Emissions Controls, Displaced Fuels, and Impact Costs. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 4, p. 844-856, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.12469>

MUSIKAVONG, C.; GHEEWALA, S. H. Assessing ecological footprints of products from the rubber industry and palm oil mills in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 1148-1157, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.117>

OKOKO, A.; REINHARD, J.; DACH, S. W.; ZAH, R.; KITEME, B.; OWUOR, S.; EHRENSPERGER, A. The carbon footprints of alternative value chains for biomass energy for cooking in Kenya and Tanzania. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 22, p. 124-133, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.02.017>

OLIVEIRA, M. A. C.; SHINOHARA, A. H. A experiência com gás natural/GLP no polo gesso do Araripe, PE. **Cerâmica**, v. 60, n.354, p.243-253, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132014000200013>

ONAT, N. C.; KUCUKVAR, M.; TATARI, O. Scope-based carbon footprint analysis of US residential and commercial buildings: An input–output hybrid life cycle

assessment approach. **Building and Environment**, v. 72, p. 53-62, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.10.009>

PAN, Y.; BIRDSEY, R.A.; FANG, J.; HOUGHTON, R.; KAUPPI, P.E., et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. **Science**, v. 333, n.6045, p. 988-993, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1201609>

PATTERSON M.; MCDONALD, G.; HARDY, D. Is there more in common than we think? Convergence of ecological footprinting, energy analysis, life cycle assessment and other methods of environmental accounting. **Ecological Modelling**, v. 362, n. 24, p.19-36, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.07.022>

RAHMAN, F.A.; AZIZ, M.M.A.; SAIDUR, R.; BAKAR, W.A.; HAININ, M.R.; PUTRAJAYA, R.; HASSAN, N.A. Pollution to solution: capture and sequestration of Carbon dioxide (CO₂) and its utilisation as a renewable energy source for a sustainable future. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, p.112-126, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.011>

RASHID, A.; IRUM, A.; MALIK, I. A.; ASHRAF, A.; RONGQIONG, L.; ULLAH, H.; ALI, M. U.; YOUSAF, B. Ecological footprint of Rawalpindi; Pakistan's first footprint analysis from urbanization perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 170, p.362-368, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.186>

ROBINSON, O. J.; TEWKESBURY, A.; KEMP, S.; WILLIAMS, I. D. Towards a universal carbon footprint standard: A case study of carbon management at universities. **Journal of Cleaner Production**, v.172, p. 4435-4455, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.147>

SHAN, Y.; GUAN, D.; MENG, J.; LIU, Z.; SCHROEDER, H.; LIU, J.; MI, Z. Rapid growth of petroleum coke consumption and its related emissions in China. **Applied Energy**, v. 226, p. 494-502, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.019>

SILVA, J. A. A.; ROCHA, K. D.; FERREIRA, R. L. C.; TAVARES, J. A. Produtividade Volumétrica de Clones de Eucalyptus spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 10, p. 240-260, 2013.

SIMAS, M.; PAULIUK, S.; WOOD, R.; HERTWICH, E. G.; STADLER, K. Correlation between production and consumption-based environmental indicators: The

link to affluence and the effect on ranking environmental performance of countries. **Ecological Indicators**, v. 76, p. 317-323, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.01.026>

SINDUSGESSO- Sindicato das Indústrias do Gesso do Estado de Pernambuco. **Polo Gesseiro**. 2014. Disponível em: http://www.sindusgesso.org.br/polo_gesseiro.asp. Acesso em: 20 de agosto de 2017.

SOLARIN, S. K.; BELLO, M. O. Persistence of policy shocks to an environmental degradation index: The case of ecological footprint in 128 developed and developing countries. **Ecological Indicators**, v.89, p. 35-44, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.064>

SUÁREZ, S.; ROCA, X.; GASSO, S. Product-specific life cycle assessment of recycled gypsum as a replacement for natural gypsum in ordinary Portland cement: application to the Spanish context. **Journal of Cleaner Production**, v. 117, p. 150-159, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.044>

VIEIRA, P. L.; GARCIA, C. B.; GUIMARÃES, H. B.; TORRES, E. A.; PEREIRA, O. L. S. **Gás natural: benefícios ambientais no Estado da Bahia**. Salvador: Solisluna Design e Editora, 2005. 132 p.

VOGLER-FINCK, P. J. C.; WISNIEWSKI, R.; POPOVSKI, P. Reducing the carbon footprint of house heating through model predictive control—A simulation study in Danish conditions. **Sustainable Cities and Society**, v. 42, p. 558-573, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.07.027>

WACKERNAGEL, M.; MONFREDA, C.; MORAN, D.; WERMER, P.; GOLDFINGER, S.; DEUMLING, D.; MURRAY, M. **National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The Underlying Calculation Method**. Global Footprint Network, Oakland, USA, 2005. 33 p.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. **Our Ecological Footprint, reducing human impact on the earth**. New York: New Society Publishers. 1996.

CAPÍTULO 4

IMPACTOS AMBIENTAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS NA PRODUÇÃO DE GESSO NA REGIÃO DO ARARIPE, ESTADO DE PERNAMBUCO⁴

Resumo

O estado de Pernambuco é responsável pela produção de 97 % do gesso consumido no Brasil. Isso se deve em grande parte à qualidade do seu minério de gipsita, que alcança um altíssimo grau de pureza. As reservas pernambucanas de gipsita se concentram na região do Araripe, compondo o Polo Gesso do Araripe, importante arranjo produtivo a nível nacional. Embora essa atividade represente uma importante fonte de recursos para a região que está inserida, é também responsável pela geração direta e indireta de uma série de impactos ambientais. A principal fonte energética utilizada no processo de beneficiamento do minério é a lenha, na maioria das vezes proveniente de espécies nativas da Caatinga. Essa retirada massiva de lenha tem colocado a região sob uma severa pressão antrópica que, conseqüentemente, vem gerando alterações nas estruturas físicas e biológicas do ambiente. Soma-se a esse cenário a expressiva liberação de particulados na atmosfera, comprometendo a qualidade do ar e trazendo recorrentes problemas de saúde à população local. Dessa forma a busca por uma nova matriz energética se faz necessária, atrelando-se também estratégias de produção mais limpas. Panorama que para ser implantado depende de uma série de atores, tanto na esfera pública como privada.

Palavras chave: Gipsita, Matriz energética, Produção limpa.

ENVIRONMENTAL IMPACTS AND FUTURE PERSPECTIVES IN THE PRODUCTION OF GYPSUM IN THE REGION OF ARARIPE, PERNAMBUCO STATE

Abstract

Pernambuco State is responsible for 97% of the production of all gypsum plaster consumed in Brazil. This occurs in large part to the quality of its gypsum ore, which reaches a very high degree of purity. The gypsum reserves located in Pernambuco State are concentrated in the region of Araripe, making up the Araripe Gypsum Pole, an important productive arrangement at national level. Although this activity represents an important source of resources in the region, it is also responsible for the direct and indirect generation of environmental impacts. The main energy source used in the ore beneficiation process is firewood, most often from native Caatinga species. This massive removal of firewood has placed the region under severe anthropic pressure, which has generated consequently changes in the physical and biological structures of the environment. This scenario is accompanied by the expressive release of particulates into the atmosphere, compromising the air quality and promoting health problems to the local population. In this perspective, the search for a new energy matrix becomes necessary, also linking with cleaner production strategies. Panorama that to be implanted depends on a series of actors, both in public and private spheres.

Key Words: Gypsum, Energy matrix, Clean production.

⁴ Trabalho nas normas da Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales (Qualis Capes B2 – Engenharias I), estando o mesmo submetido e em estágio final de avaliação na referida revista.

1. INTRODUÇÃO

As atividades de mineração representam uma das grandes fontes geradoras de recursos para diversos países, em função da enorme demanda por produtos que requerem essas matérias-primas. Essa demanda tende a aumentar ainda mais, forçando uma maior retirada e beneficiamento desses bens (Moran et al., 2014). Esse setor produtivo é responsável por diversas mudanças na paisagem em que está inserido, que vão desde o revolvimento e a mobilização de grandes quantidades de rochas e solos, até a alta demanda por água e energia, somadas à produção e à disposição de rejeitos. Dessa forma, a mineração é tida como uma das principais atividades humanas que levam a problemas de ordem ambiental e social (Carvalho, 2017; Hatje et al., 2017). Devido a esse conjunto de fatores, esse segmento está sob exigências legais que visam o condicionamento socioambiental nas áreas de influência direta que implicarão na obtenção ou não das permissões de exploração e operação, licenças necessárias para o pleno funcionamento (Pietrzyk-Sokulska et al., 2015).

Considera-se Impacto Ambiental qualquer alteração no meio ou em algum de seus componentes por determinada ação ou atividade (Maciel; Freitas, 2014); sendo o processo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) a ferramenta mais eficiente para categorizar as indústrias de acordo com seu potencial de modificação negativa sobre o meio ambiente (Parajuli; Lee, 2017). Esta avaliação é um processo que investiga e prediz o potencial de impactos diretos, indiretos e cumulativo de atividades impactantes, desde o início do projeto até o seu fechamento, levando a estratégias de mitigação (Anifowose et al., 2016).

Muito embora existam diretrizes estabelecidas, o processo de AIA é realizado através de uma interpretação subjetiva, podendo ocorrer à influência de fatores externos sob o impacto ambiental. Dessa forma, fatores como a localização do empreendimento, presença de núcleos populacionais e outras áreas ambientalmente sensíveis nas proximidades podem receber impactos de alta magnitude em uma área, enquanto que em outro local, serem minimamente impactados (Castilla-Gómez; Herrera-Herbert, 2015).

Da mesma forma que ocorre com outras áreas de mineração ao redor do mundo, a cadeia produtiva da gipsita no Polo Gesseiro do Araripe, estado de Pernambuco, é responsável por impactos ambientais, desde a geração de rejeitos na fase de exploração

até o lançamento de particulados na atmosfera durante o beneficiamento. Estes impactos se somam à intensa devastação da Caatinga na região, de onde provém grande parte da lenha utilizada nos fornos das calcinadoras de gesso. Com o presente trabalho objetiva-se analisar os principais impactos decorrentes da etapa de beneficiamento da gipsita no Polo Gesseiro do Araripe, visando-se traçar estratégias de adequação da atividade para uma produção mais limpa, pretendendo-se ser uma contribuição para a elevação da sustentabilidade setorial.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

O Araripe pernambucano está inserido na mesorregião do Sertão de Pernambuco (Figura 1). Ocupa uma área territorial de 11.546,77 Km² e é composta por dez municípios: Araripina, Bodocó, Exu, Granito, Ipubi, Moreilândia, Ouricuri, Santa Cruz, Santa Filomena e Trindade. A população residente é de 326.540 habitantes (IBGE, 2017).

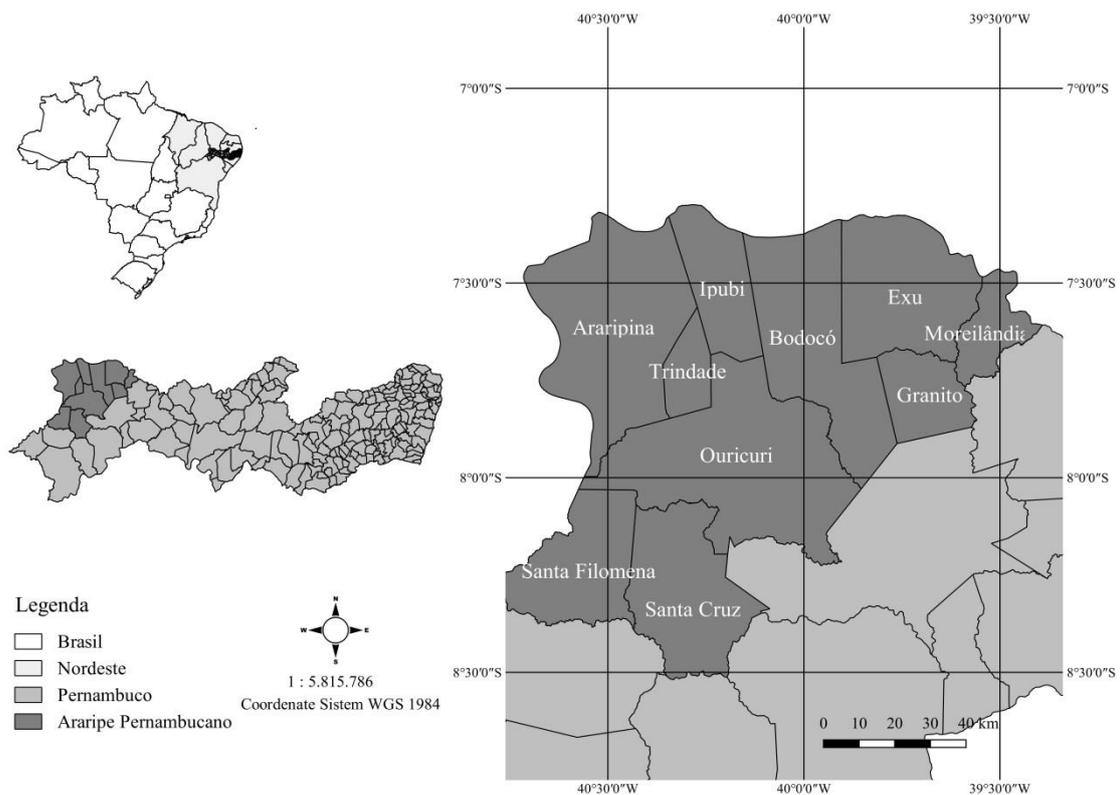


Figura 1. Localização do Araripe Pernambucano

Nessa região, encontram-se as principais ocorrências de reserva de gipsita de Pernambuco, em destaque os municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade, compondo o Arranjo Produtivo Local (APL) do Polo Gesseiro, denominado Polo Gesseiro do Araripe. A gipsita explorada nessa área é tida como a de melhor qualidade do mundo (Araújo, 2004; Silva, 2009) e é responsável por 97% da produção brasileira de gesso (Silva, 2013). As atividades de exploração desse material nessa área datam do início nos anos 60 (Silva, 2008).

Muito embora esteja inserida em uma região com graves problemas relacionados à disponibilidade de água, o que dificulta o desenvolvimento da maioria das atividades produtivas, essa região apresenta baixo índice de desemprego, o que se deve a forte influência do Polo, onde se encontram em pleno funcionamento 42 minas de gipsita, 174 indústrias de calcinação e 748 indústrias de pré-moldados, responsáveis por um faturamento de R\$ 1.4 bilhão anual e a geração de 13.9 mil empregos diretos e 69 mil indiretos. Este panorama tende a se ampliar, tomando-se como base o grande estoque de gipsita, cujo tempo restante previsto de exploração é de aproximadamente 600 anos (SINDUSGESSO, 2014).

2.2. Metodologia

Foram levantados os principais impactos oriundos da etapa de beneficiamento de gipsita na região de estudo, diagnosticando-se quais destes apresentam maior potencial de alterações sobre o meio. Para isso, realizou-se a qualificação, quantificação e classificação desses impactos, utilizando-se a planilha ponderada de Tommasi (1994) adaptada. Esses impactos podem ser classificados como de peso 1 (pequeno), 3 (moderado) ou 5 (extremo), mesma classificação adotada para o efeito, adicionando-se apenas o efeito 0 (ausente). A classe dos impactos é obtida da multiplicação do peso pelo efeito, onde valores de 0 representam impacto ausente; de 1 a 8, impacto pequeno; de 9 a 14, impacto moderado; e de 15 a 25 impacto extremo. Atribuíram-se pesos negativos (-) para os impactos que trazem danos sobre o meio, e pesos positivos (+) quando estes representam benefícios, na maioria das vezes perceptíveis apenas no meio social.

Posterior à identificação dos impactos potenciais, levantaram-se as consequências destes já verificadas na região de estudo. Procedeu-se uma análise dos ciclos organizacionais da atividade, verificando-se o atual estágio e as perspectivas futuras.

Para tal utilizou-se o Modelo de Ecociclos proposto por Hurst (1995). Com base na estrutura de produção local e as potencialidades associadas, buscou-se propor estratégias de adequação da atividade rumo a uma produção mais limpa e eficiente, atrelando-se ganhos ambientais e econômicos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Qualificação e Classificação dos Impactos

Na análise qualitativa dos impactos, verificaram-se quais destes apresentam maior capacidade de gerar transtornos nas escalas físicas, químicas, biológicas e sociais do meio (Melià et al., 2014), sendo verificada a abrangência, efeito, repercussão, temporalidade, permanência, reversibilidade e parâmetro que define o impacto (Quadro 1). No contexto da calcinação da gipsita, merecem destaque as liberações de poeira e de particulados, além do uso de madeira nativa. Este primeiro é um impacto de abrangência local, causa danos diretos na saúde e na qualidade de vida das pessoas que habitam a área de influência dessas calcinadoras, não apenas por ser responsável por diversos problemas respiratórios, mas também por comprometer a qualidade da água dos reservatórios em uma região historicamente afetada por elevados déficits hídricos. O segundo impacto, além de contribuir para a degradação ambiental dos municípios do Polo, já avança por outros municípios de Pernambuco e de outros estados.

Quadro 1. Análise qualitativa dos impactos presentes na etapa de beneficiamento de gipsita.

Impacto	Abrangência	Efeito	Repercussão	Tempor alidade	Perman ência	Reversi bilidade	Parâmetro que define o Impacto
Ruídos gerados pelos equipamentos	Pontual	Negativo	Direta	Curto	Temporário	Reversível	Frequência
Liberação de gases decorrentes do processo	Pontual	Negativo	Direta	Curto	Temporário	Reversível	Dispersão
Poeira e particulados	Local	Negativo	Direta	Longo	Permanente	Reversível	Volume, dispersão

Uso de lenha nativa	Regional	Negativo	Indireta	Longo	Permanente	Reversível	Volume
Geração de rejeitos	Local	Negativo	Direta	Longo	Permanente	Irreversível	Persistência
Geração de emprego e renda	Regional	Positivo	Direta	Longo	Permanente	Reversível	Persistência
Abastecimento do mercado	Estratégica	Positivo	Direta	Longo	Permanente	Reversível	Persistência

Baseada em Tommasi (1994).

Apesar dos impactos negativos supracitados, dois fatores se destacam: a geração de emprego e renda, que garantem o desenvolvimento dessa região em meio a um ambiente hostil e de poucas opções de exploração econômica, e a vanguarda a nível nacional na produção de gesso, responsável por quase toda a totalidade desse segmento no país (Figura 2). Dessa forma, ações que minimizem e/ou mitiguem as ações negativas devem ser postas em prática, visando-se uma produção mais limpa e eficiente em termos de recursos. Estas ações devem se concentrar principalmente na substituição da matriz energética e modernização dos fornos, uma vez que a intensa degradação da Caatinga conduz, além de problemas ambientais, à incertezas no abastecimento dos fornos das calcinadoras, sendo hoje um dos principais gargalos da cadeia produtiva do gesso, podendo culminar com a inviabilização da atividade, gerando graves perdas econômicas e sociais (Granja et al, 2017).

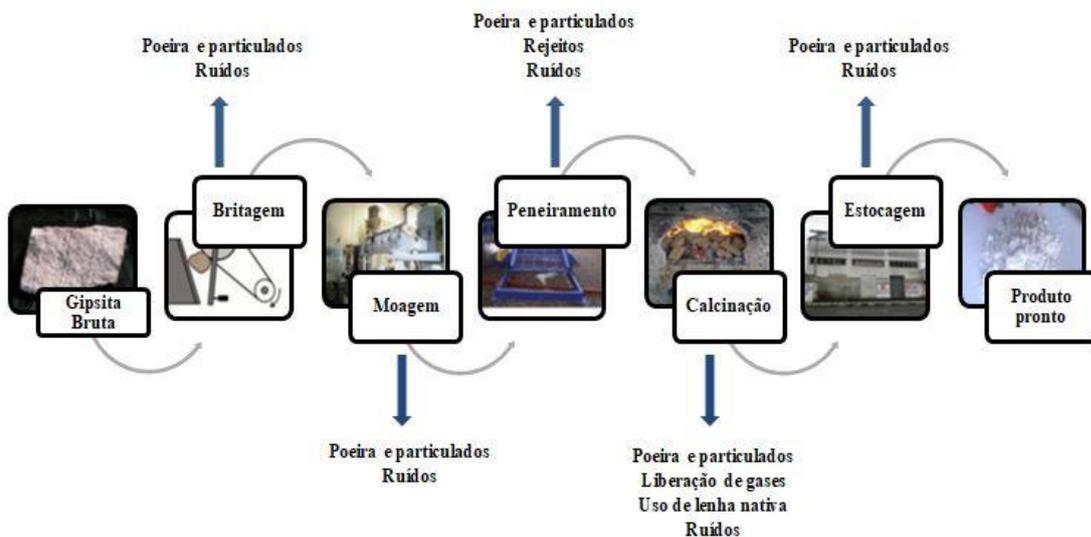


Figura 2. Fluxograma da etapa de beneficiamento do gesso e impactos negativos associados.

A análise quantitativa da etapa de calcinação (Tabela 1) mostrou um indicativo de -39, expondo assim o contraponto entre desenvolvimento econômico, representado pela geração de emprego e abastecimento de mercado, com a geração de impacto ambiental. Assim como na análise qualitativa, merece destaque a produção de poeira e particulados e o uso de lenha nativa, ambos com classificação de impacto extremo.

Tabela 1. Matriz Quantitativa dos impactos presentes na etapa de beneficiamento de gipsita.

Impacto	Peso	Efeito	Classe
Ruídos gerados pelos equipamentos	3	-3	-9
Liberação de gases decorrentes do processo	3	-3	-9
Poeira e particulados	5	-5	-25
Uso de lenha nativa	5	-5	-25
Geração de rejeitos	5	-1	-5
Geração de emprego e renda	3	+3	+9
Abastecimento do mercado	5	+5	+25
Total			-39

A geração de ruídos e liberação de gases durante a calcinação são impactos significativos, no entanto, sendo eventos mais restritos à unidade de produção, diferente do que ocorre com a poeira, que se alastra por áreas muito maiores. Assim, seus efeitos são mais localizados e podem ser mitigados de formas mais simples, como por meio da com a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI) por parte dos trabalhadores. Desta forma, estes podem ser classificados como de impacto moderado.

Embora a geração de resíduos seja um problema em qualquer atividade, merecendo atenção especial para ações de gestão e gerenciamento (Costa et al., 2017), no caso específico da calcinação da gipsita essa geração não chega a ser tão expressiva, principalmente devido à elevada pureza do minério, que atinge 98%. Também se observa que esse material, por vezes, é reaproveitado e usado junto com outros materiais na fabricação de blocos e tijolos, que são empregados na construção de habitações na região (Araújo; Martins, 2012).

3.2. Impactos Ambientais

A etapa de beneficiamento (calcinação) é responsável pelos principais impactos ambientais dentro da cadeia produtiva do gesso, sejam estes diretos ou indiretos. Entre os impactos diretos destaca-se a poluição atmosférica. Durante esse processo, a gipsita bruta é moída e submetida a altas temperaturas para ser desidratada, resultando no gesso. No entanto, em sua maioria, as calcinadoras não possuem sistemas eficientes para evitar que os gases e as poeiras provenientes da calcinação sejam liberados no meio. Dessa forma ocorrem reações da água (H_2O) com o óxido de enxofre (SO), gerando gás sulfídrico e ácido sulfúrico, além da liberação de material particulado (Araújo; Martins, 2012). Essa poeira se dissipa na atmosfera formando plumas com algumas centenas de metros, ao longo da direção dos ventos, podendo atingir alguns quilômetros a partir de onde foram geradas (Arruda et al., 2012).

No tocante à saúde da população residente no perímetro de influência dessas unidades fabris, a poeira de gesso pode desencadear diversos problemas de saúde, que podem variar desde irritação nos olhos, nas mucosas e no aparelho respiratório, até efeitos crônicos ou permanentes na saúde dessas pessoas. Somente em Araripina, 38% das internações hospitalares estiveram relacionadas a problemas respiratórios causados pela poeira de gesso, afetando principalmente crianças e idosos (Medeiros, 2003; Medeiros et al., 2010).

Em trabalhos desenvolvidos por Arruda et al. (2012) e Arruda et al. (2015) em reservatórios da região de Araripina, observaram-se altos teores de sulfato nas águas desses ambientes, fator que os autores atribuíram a poeira proveniente da produção de gesso, que uma vez sedimentada sobre o solo e a vegetação, é solubilizada pela água das chuvas e levada a esses corpos d'água. Esses altos níveis podem alterar as características organolépticas da água destinada ao abastecimento público, com o surgimento de gosto amargo ou adstringente, além de que sua ingestão pode causar efeito laxativo (Pacheco et al., 2016). Esse cenário é preocupante, visto a escassez de água nessa região, que assim como o resto do Semiárido, tem nesses reservatórios uma de suas principais reservas hídricas para os períodos de estiagem (Almeida; Frischkorn, 2015; Pinheiro et al., 2015; Fernandes et al., 2016).

Além desses impactos diretos, o processo de calcinação requer grandes aportes de material energético, uma vez que se realiza em temperaturas superiores a $140^{\circ}C$ (Pinto et al., 2016). A principal matriz energética utilizada atualmente é a biomassa florestal,

representando 96.6 % dos insumos energéticos usados (Tabela 2), com uma demanda anual de 2.565 milhões de metros estéreos (st) por ano (Henriques Júnior, 2013).

Tabela 2: Participação de insumos energéticos no beneficiamento de gipsita (com base na produção 2011–2012).

Insumo energético empregado	Produção de gesso (10^3 t)	Consumo específico de energia	Participação (%)
Lenha	4, 275.00	0,6 st/t	96.6
Coque de petróleo	180	40 kg/t	2.9
Óleo combustível	22.5	35 kg/t	0.3
GLP / GN	22.5	17 kg/t	0.2

Fonte: Henriques Júnior (2013).

Essa forte pressão antrópica tem acarretado graves danos ao bioma Caatinga na região. Em levantamentos realizados na região até 2008, constatou-se que todos os municípios que compõem o Polo apresentavam situação crítica quanto ao estado de conservação de sua vegetação original, estando com áreas superiores a 50% de Caatinga antropizada, merecendo destaque o município de Bodocó, com 88.23% da Caatinga (IBAMA, 2010). Segundo Sá et al. (2011), durante o período de 1998 e 2008, as áreas desmatadas na região do Araripe eram superiores aquelas em vias de regeneração da cobertura vegetal. O desmatamento representa um dos principais fatores da desertificação (Angelotti et al., 2015), processo que compromete a manutenção da população local, além de trazer graves impactos sobre o ecossistema, potencializado na região pelas altas temperaturas e baixas taxas de precipitação.

Uma vez que os estoques madeireiros da região já se encontram bastante comprometidos, a busca por lenha avança por outros municípios, chegando a ser trazida de outras áreas a centenas de quilômetros, ultrapassando os limites de Pernambuco e adentrando os estados do Piauí, Bahia, Ceará (Henriques Júnior, 2013) e Paraíba (Travassos; Sousa, 2014).

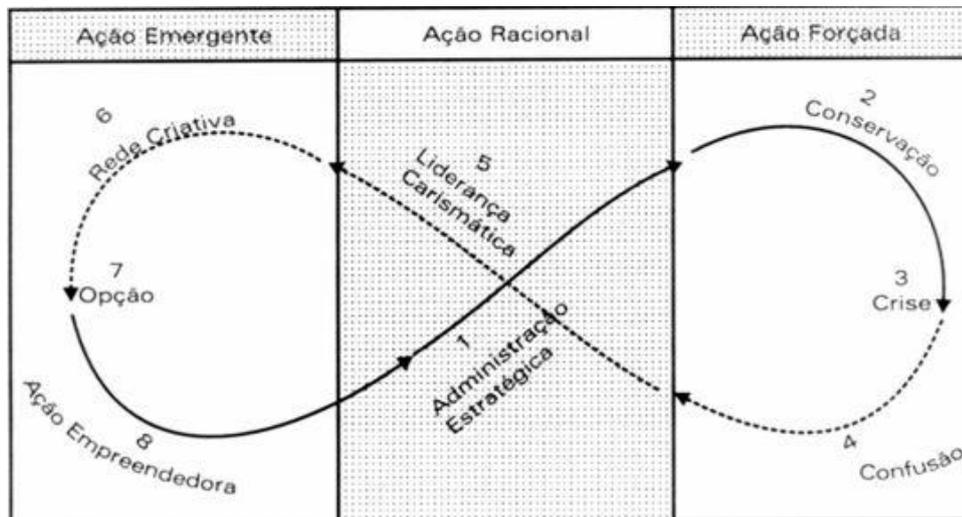
3.3. Análise segundo o Ecociclo Organizacional

David Hurst (1995) desenvolveu a teoria do Ecociclo Organizacional, baseando-se em suas experiências no campo empresarial. Esse modelo combina o *loop* de aprendizagem e o *loop* de desempenho em uma única imagem que perfaz o símbolo do

infinito, que se subdivide em oito fases: administração estratégica, conservação, crise, confusão, liderança carismática, rede criativa, opção e ação empreendedora (Figura 3).

Aplicando-se esse modelo para a atividade de extração e beneficiamento da gipsita no Araripe pernambucano, pode-se observar a progressão desse setor dentro da tendência dos dois *loops* ao infinito. No atual estágio, tem-se uma ação forçada, em um estágio de conservação do modelo vigente, onde prevalece a utilização maciça e ilegal de lenha da Caatinga como principal fonte energética. Partindo-se do pressuposto da circularidade do Ecociclo e somada às ações de fiscalização do órgão estadual de meio ambiente, chega-se a um estágio de crise, onde serão buscadas alternativas viáveis para o segmento.

Figura 3. Modelo de Ecociclo Organizacional



Fonte: Mintzberg et al. (2000)

A migração de matriz energética não é uma ação rápida a ser implementada, além de surgirem controvérsias quanto ao custo e retorno final. Assim, adentra-se em um estágio de confusão, onde são apontadas ações emergenciais e de resultados em curto prazo, como a utilização de manejo florestal, e outras que representam investimentos maiores, porém com maiores vantagens a médio e longo períodos de tempo.

Empresa como a New Gipso, que já utilizam gás natural como matriz energética, serve de exemplo para as demais empresas do Polo, uma vez que ao ser pioneira na substituição da lenha em seus fornos, obtém resultados promissores, como aumento da produtividade e redução de 50% do tempo de calcinação. Esta empresa lidera assim uma ação racional, sendo considerada um benchmarking setorial, justificando o uso dessa

nova matriz energética e a compreensão dos pontos que levem a viabilidade socioeconômica e ambiental de tal mudança.

3.4. Os passos para a implementação da produção mais limpa setorial

Para a real adaptação do setor produtivo de gesso para moldes menos impactantes, uma série de etapas devem ser realizadas, englobando todos os que estão ligados de alguma forma ao setor.

3.4.1. Convencimento dos *Shareholders*

Como peças fundamentais nesse segmento, os *shareholders* devem ter dimensão do impacto ambiental das empresas na região, determinando tanto a área de influência direta como indireta, denotando nestes, novos valores corporativos (Byun; Oh, 2018). Mais que isso, precisam compreender que esses impactos, diretamente ou indiretamente, representam também perdas econômicas e problemas sociais (Isafiade et al., 2017), que refletem em morbidade e até mortalidade. Além de que, as adequações das empresas podem levar ao fornecimento de um produto final com um maior valor agregado e adentrar em novos mercados, com a utilização do gesso, por exemplo, sendo cada vez mais crescente em construções sustentáveis. Mas para tanto, há de se verificar todos os preceitos da sustentabilidade, levando-se em conta os indicadores do *triple bottom line* (Korhonen et al., 2018). Além disso, os investimentos em adaptações de fornos podem, em médio prazo, ser menores que as multas recebidas por infringir a legislação. Para tanto, uma melhor compreensão da econometria do negócio há de ser feita, visando-se dar informações para a tomada de decisão, além de diminuir possíveis perdas processuais e geração de resíduos (Geraldo et al., 2017).

3.4.2. Poder Público como Agente de Modificação

Os esforços para a mudança da matriz energética no Polo Gesseiro devem ter como força motriz a ação do poder público, principalmente os governos federal e estadual (Stokes; Breetz, 2018). A construção de um gasoduto entre Caruaru e Araripina seria uma grande redenção para essa região produtiva, e a partir daí, o gás natural poderia ser distribuído para os demais municípios. Apesar de ser uma obra que requer significativos investimentos, deve-se atentar para a importância do Polo para a

economia do estado de Pernambuco e, principalmente, pela vanguarda de produção dessa região a nível nacional. Certamente a análise de formas energéticas mais sustentáveis há de ser uma questão emergente setorial (Gürtürk; Oztop, 2014).

3.4.3. Poder de Seletividade dos *Stakeholders*

Para fins de *stakeholders*, serão considerados os potenciais clientes dos produtos de gesso oriundo do Polo Gesseiro, sejam eles pessoas físicas, jurídicas ou empresas que ainda façam algum tipo de beneficiamento na matéria prima (ex: fábricas de *drywall*). Essa classe pode influenciar diretamente na dinâmica da redução do impacto ambiental no Polo, comprando material cuja procedência da fonte energética usada no processo de calcinação seja conhecida e legal, por meio do comportamento e valores adotados (Yuen et al., 2017, Maddaloni; Davis, 2017). A pressão econômica exercida contribui para a mais rápida adequação das unidades produtivas, por conta da necessidade de não exclusão de mercados. Tal força pode influenciar, de forma decisiva, no sucesso ou re-engenharia de setores produtivos (Martinez; Olander, 2015).

4. CONCLUSÕES

Existe a necessidade urgente de mudanças no processo de calcinação da gipsita no Polo Gesseiro do Araripe, buscando-se traçar estratégias de adequação da atividade visando-se o estabelecimento de uma produção mais limpa, elevando a sustentabilidade setorial. Neste, merecem destaque a liberação de poeira e de particulados, além do uso de madeira nativa, que provocam danos à saúde e a qualidade de vida dos habitantes da região.

Apesar de uma gama de impactos associados, essa atividade se faz necessária na região, visto os números expressivos de geração de emprego e renda, garantindo o desenvolvimento local em meio a um ambiente de poucas opções de exploração econômica.

Esta atividade tem relação direta com a poluição do ar local, sendo responsável por liberar componentes químicos como o óxido de enxofre para a atmosfera, além da formação de plumas que irão gerar morbidade e diversos outros problemas na população das áreas adjacentes.

Analisada de acordo com os Ecociclos Organizacionais observa-se que a atividade tem o desafio de agregar inovações tecnológicas, sendo a matriz energética um dos

pontos relevantes para a sustentabilidade setorial. Existe empresa posicionada como líder setorial a qual está inserindo tal temática como relevante na sustentabilidade operacional.

Vislumbra-se que para a implantação da produção mais limpa no setor há de existir processo de convencimento dos *shareholders*, articulação do poder público assumindo papel de moderador, assim como empoderamento dos *stakeholders* visando-se que estes exerçam papel de influenciar em modificações processuais e inserção de tecnologias sustentáveis. Compreende-se que desta forma o setor de calcinação de gipsita poderá elevar seu potencial de sustentabilidade, propiciando a diminuição dos fatores que elevam os riscos para a competitividade do Polo Gesseiro do Araripe.

5. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. R. F.; FRISCHKORN, H. (2015) Agrupamento da Qualidade da Água de Poços de um Pequeno Aquífero Aluvial: Estudo de Caso da Bacia do Riacho Forquilha em Quixeramobim Ce/ Brasil. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, 8 (1), 114 – 130.

ANGELOTTI, D. S.; GIONGO, V.; SIGNOR, D. (2015) Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Experiências e Oportunidades para o Desenvolvimento. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 484-495.

ANIFOWOSE, B.; LAWLER, D.M.; VAN DER HORST D.; CHAPMAN, L. (2016) A systematic quality assessment of Environmental Impact Statements in the oil and gas industry. *Science of The Total Environment*, 572, 570-585.

ARAÚJO, S. M. S. (2004) *O Pólo Gesseiro do Araripe: Unidades geo-ambientais e impactos da mineração*. Tese de doutorado (Programa de Pós-graduação em Geociências. Área de Administração e Política de Recursos Minerais) Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 276 p.

ARAÚJO, S. M. S.; MARTINS, L. A. M. (2012) A Indústria Extrativa Mineral do Pólo Gesseiro do Araripe e seus Impactos Sócio-Ambientais. *Revista de Geografia*, 29 (1), 91-112.

ARRUDA, G. B.; CORREIA, K. V.; MENOR, E. A.; LINS, V. (2012) Contaminações em Sulfato e Cloretos em Águas de Superfície e Subsuperfície na Região de Araripina-PE. *Estudos Geológicos*, 22 (2), 149-171.

ARRUDA, G.B.; CORREIA, K.V.; OLIVEIRA, T. R. S.; BRAINER NETO, J.E.; ARAÚJO, F. P.; CARNEIRO, K. W. F. S.(2015) Análise da Qualidade da Água do Riacho Moraes em Área Influenciada pela Produção de Gesso no Município de Araripina, PE – Brasil. *Revista de Geologia*, 28 (1), 27-38.

BYUN, S. K.; OH, J. (2018) Local corporate social responsibility, media coverage, and shareholder value. *Journal of Banking and Finance*, 87, 68–86.

CARVALHO, F. P. (2017) Mining industry and sustainable development: time for change. *Food and Energy Security*, 6 (2), 61–77.

CASTILLA-GÓMEZ, J.; HERRERA-HERBERT, J. (2015) Environmental analysis of mining operations: Dynamic tools for impact assessment. *Minerals Engineering*, 76, 87-96.

COSTA, A. R. S.; SANTOS, T. C. G.; KOZMHINSKY, M.; ALENCAR, S. K. P; VALLE, G. (2017) Aplicação da Matriz GUT na Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade do Recife-PE. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, 10 (2), 201-213.

FERNANDES, W. S.; SOUZA FILHO, F. A.; STUDART, T. M. SILVEIRA, C. S. (2016) Avaliação do Impacto das Mudanças Climáticas no Balanço Hídrico na Bacia do Óros usando os Modelos de Mudanças Climáticas do IPCC-AR4 para o Cenário A1B. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, 9 (1), 28 – 48.

GERALDO, R. H.; PINHEIRO, S. M. M.; SILVA, J. S.; ANDRADE, H. M. C.; DWECK, J.; GONÇALVES, J. P.; CAMARINI, G. (2017) Gypsum plaster waste recycling: A potential environmental and industrial solution. *Journal of Cleaner Production*, 164, 288-300.

GRANJA, C. V. A.; CAVALCANTE, E. P.; CAFFÉ FILHO, H. P.; SIQUEIRA, M. S.; NASCIMENTO, W. (2017) Degradação Ambiental: Exploração de Gipsita no Polo Gesseiro do Araripe. *Id on Line*, 11 (36), 239-267.

GÜRTÜRK, M.; OZTOP, H. F.(2014) Energy and exergy analysis of a rotary kiln used for plaster production. *Applied Thermal Engineering*, 67, 554-565.

HATJE, V.; PEDREIRA, R. M. A.; REZENDE, C. E.; SCHETTINI, C. A. F.; SOUZA, G. C.; MARIN, D. C.; HACKSPACHER, P. C. (2017) The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. *Scientific Reports*, 7 (10706), 1-13.

HENRIQUES JÚNIOR., M. F. (2013) *Potencial de financiamento de eficiência energética: nos setores de cerâmica e gesso no Nordeste*. Instituto Nacional de Tecnologia –INT / MCTI, 137 p.

HURST, D. K. (1995) *Crisis & renewal: meeting the challenge of organizational change*. Harvard Business School Press, Boston, 240 p.

IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2010) *Monitoramento do bioma caatinga, 2002-2008*. Brasília, MMA, 58p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017) *Cidades@*. Disponível em:

<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=26&search=pernambuco>.

Acesso em: 20 de agosto de 2017.

ISAFIADE, A. J.; SHORT, M.; BOGATAJ, M.;KRAVANJA, Z. (2017) Integrating renewables into multi-period heat exchanger networksynthesis considering economics and environmental impact. *Computers and Chemical Engineering*, 99, 51–65.

KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. (2018) Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46.

MACIEL, C. S.; FREITAS, L. S. (2014) Use of the FMEA method in the identification and analysis of environmental impacts caused by fuel stations: a case study. *Brazilian Journal of Management*, 7 (4), 570-589.

MADDALONI, F. D.; DAVIS, K. (2017)The influence of local community stakeholders in megaprojects: Rethinking their inclusiveness to improve project performance. *International Journal of Project Management*, 35, 1537–1556.

MARTINEZ, C.; OLANDER, S. (2015) Stakeholder participation for sustainable property development. *Procedia Economics and Finance*, 21, 57-63.

MEDEIROS, M. S.; HURTADO-GUERRERO, J. C.; SILVA, L. G. A. (2010) A saúde no contexto do polo gessoso de Araripina-Pernambuco, Brasil . *Saúde e Sociedade*, 19 (2), 358-370.

MEDEIROS, M.S. (2003) *Poluição Ambiental por Exposição à Poeira de Gesso: Impactos na Saúde da População*. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública). Centro de Pesquisas Ageu Magalhães, Recife. 56p.

MELIÀ, P.; RUGGIERI, G.; SABBADINI, S.; DOTELLI, G. (2014) Environmental impacts of natural and conventional building materials: a case study on earth plasters. *Journal of Cleaner Production*, 80, 179-186.

MINTZBERG, H.; AHLSTRAND, B.; LAMPEL, J. (2000) *Safári de estratégia: um roteiro pela selva do planejamento estratégico*. Porto Alegre: Bookman, 299 p.

MORAN, C. J.; LODHIA, S.; KUNZ, N.C.; HUISINGH, D. (2014) Sustainability in mining, minerals and energy: new processes, pathways and human interactions for a cautiously optimistic future. *Journal of Cleaner Production*, 84, 1-15.

PACHECO, G; COSTA, A.B.; SILVEIRA, E.O.; DEPRÁ, B; LOBO, E.A. (2016) Calibração de um índice de qualidade de águas subterrâneas (IQNAS) para a região do Vale do Rio Pardo, RS, Brasil: nova ferramenta tecnológica para o monitoramento ambiental. *Águas Subterrâneas*, 30 (3), 427-439.

PARAJULI, I.; LEE, H. (2017) Study on integration techniques for Environmental Impact Assessment of different media based standard industrial classification: A case study of South Korea. *Journal of Cleaner Production*, 151, 643-651.

PIETRZYK-SOKULSKA, E.; UBERMAN, R.; KULCZYCKA, J. (2015) The impact of mining on the environment in Poland – myths and reality *Gospod. Surowcami Mineralnymi – Miner. Resour. Manag*, 31(1), 45-64.

PINHEIRO, M. I. T.; CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. C.; LUNA, R. M.; SANTOS, E. M. A. (2015) Programas de Segurança da Água: Conceitos e Práticas. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, 8 (1), 131-146.

PINTO, N A.; FIORITI, C. F.; BERNABEU, J. P.; AKASAKI, J. L. (2016) Avaliação de Matriz de Gesso com Incorporação de Borracha de Pneus para Utilização na Construção Civil. *Revista Tecnológica*, 25 (1),103-117.

SÁ, I. I. S.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B.; SÁ, I. B. (2011) Avaliação da Degradação Ambiental na Região do Araripe Pernambucano Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6, 1292-1314.

SILVA, J. A. A.; ROCHA, K. D.; FERREIRA, R. L. C.; TAVARES, J. A. (2013) Produtividade Volumétrica de Clones de *Eucalyptus spp.* no Polo Gesseiro do Araripe, Pernambuco. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, 10, 240-260.

SILVA, J.A.A. (2009) Potencialidades de Florestas Energéticas de Eucalyptus no Polo Gesseiro do Araripe- Pernambuco. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, 6, 301-319.

SILVA, P.R. (2008) *Pernambuco (1850 – 1950): Cem Anos de Reflexão, Antes do Cluster do Gesso*. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Administração) Faculdade Boa Viagem, Recife. 131 p.

SINDUSGESSO - Sindicato das Indústrias do Gesso do Estado de Pernambuco. (2014) *O Polo Gesseiro*. Disponível em: http://www.sindusgesso.org.br/polo_gesseiro.asp. Acesso em: 26 de agosto de 2017.

STOKES, L. C.; BREETZ, H. L. (2018) Politics in the U.S. energy transition: Case studies of solar, wind, biofuels and electric vehicles policy. *Energy Policy*, 113, 76–86.

TOMMASI, L. R. (1994) *Estudo de Impacto Ambiental*. CETESB/Terragraph, Artes e Informática, São Paulo.

TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I. (2014) Os negócios da lenha: indústria, desmatamento e desertificação no Cariri paraibano. *GEOUSP: Espaço e Tempo*, 18 (2), 329-340.

YUEN, K.F.; WANG, X.; WONG, Y. D.; ZHOU, Q. (2017) Antecedents and outcomes of sustainable shipping practices: The integration of stakeholder and behavioural theories. *Transportation Research Part E*, 108, 18–35.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

A escolha de indicadores de sustentabilidade que possam ser aplicados para compreender de forma eficiente o passivo ambiental deixado pela cadeia produtiva da gipsita pernambucana, mostrou de forma clara, que para esse contexto, inicialmente devem ser consideradas as Pegadas de Carbono e Ecológica, visto serem em um primeiro momento indicadoras dos impactos mais expressivos. Da mesma forma, evidenciou-se que os esforços para quantificação desses indicadores devem se concentrar na etapa de calcinação.

A quantificação da Pegada Hídrica total para essa atividade não foi realizada. Apesar de sua mensuração ser importante, apresenta uma complexidade para a obtenção de dados robustos que alicercem as metodologias de determinação. Ao ser levantada a aplicabilidade da PH para a cadeia produtiva da gipsita, percebe-se que a redução da Pegada de Carbono por meio da migração para uma matriz energética mais limpa, implica diretamente na redução da PH.

A busca pela adequação desse segmento precisa ser uma premissa urgente, visto a necessidade de uma produção limpa e sustentável e a busca pela manutenção de mercados. Para tanto, a estruturação de políticas públicas setoriais, focadas nos princípios da sustentabilidade e levando-se em consideração estudos e indicadores, deve ter lugar. Desta feita, com a presente pesquisa pretendeu-se dar uma contribuição para que o setor de produção de gesso possa alcançar patamares mais elevados de desenvolvimento sustentável.