

**CONTAMINAÇÃO GEOQUÍMICA AMBIENTAL DA  
PRODUÇÃO DE CALCÁRIOS CORRETIVOS E CAL NA  
REGIÃO DE SANTA MARIA DO CAMBUCÁ,  
PERNAMBUCO: CONSIDERAÇÕES SOBRE A PRODUÇÃO  
MINERAL REGIONAL**

*Wando H.B. Duarte<sup>1</sup>, Eldemar A. Menor<sup>1</sup>, M. Barros<sup>1</sup>, Fernando O. Mota Filho<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação Eng. Minas – PPGEMinas/UFPE – whduarte@bol.com.br

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGEIO/UFPE

*Artigo recebido em 22/05/2012 e aceito em 07/12/2012*

**RESUMO**

Impactos ambientais decorrentes do beneficiamento de calcários cristalinos para produção de cal e corretivos agrícolas são apresentados neste estudo. O estudo de caso foi -no distrito Serrinha, Município de Santa Maria do Cambucá, Pernambuco, Brasil. Nesta região pequenas minerações a céu aberto estão em atividade, associadas à calcinadoras e algumas unidades de cominuição que produzem calcários corretivos. A mineração e a produção de cal virgem utilizam métodos artesanais, resultando em cales comercializadas sem adequado controle de qualidade, e em sérios danos à biomassa da Caatinga. Problemas do trato respiratório superior têm sido registrados nas populações vicinais a estes focos de produção. Em imagens satélite, pluma de sedimentação de poeiras industriais sobre solos indicam origens a partir de focos de produção de cal. Assim sendo, uma amostragem estratégica foi realizada a partir de solos e águas superficiais na região de Serrinha e áreas circunvizinhas, seguida de análises químicas e laboratoriais, para avaliar as repercussões ambientais desta produção industrial. Os resultados demonstraram a existência de pluma de sedimentação de poeira de cal virgem, a partir de sua dispersão atmosférica conforme direção predominante dos ventos, com origem nos focos de calcinação. Nas áreas afetadas, a vegetação sofre ressecamento da folhagem e os corpos d'água apresentam diferentemente da tendência regional, pH alcalino, independentemente da natureza do substrato lítico. Solos alcalinizados apresentaram nítida diminuição na disponibilidade de fósforo assimilável em relação aos solos regionais. Comentários e sugestões são apresentados, visando melhoria da produção industrial e proteção ambiental.

**Palavras-chave:** Poluição ambiental, produção de cal virgem.

**CONTAMINATION OF ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY  
PRODUCTION OF LIME AND LIME IN LIMESTONE REGION OF  
SANTA MARIA CAMBUCÁ, PERNAMBUCO: CONSIDERATIONS  
FOR REGIONAL MINERAL PRODUCTION**

**ABSTRACT**

Environmental impacts resulting from the processing of crystalline limestone to produce quick lime and agricultural lime are presented in this study. The case study is situated at Serrinha District, Municipality of Santa Maria do Cambucá, Pernambuco State, Brazil. In this region small open pit mines are in operation, associated with calcination unities and a grinding plant for agricultural lime production. Mining and production of quicklime using traditional methods, resulting in silent sold without adequate quality control and serious damage to the *caatinga* biomass. Upper respiratory tract problems have been recorded in populations vicinal to these outbreaks of production. In satellite images, feather dust settling on industrial soils indicates origins from pockets of lime production. Thus, a strategic sampling was performed from soils and surface waters in the region of Serrinha and

surrounding areas, followed by chemical analysis and laboratory, to assess the environmental impacts of industrial production. The results demonstrated the existence of a plume of quicklime dust sedimentation from the calcination focus by way of atmospheric dispersion following the wind direction. In affected areas, vegetation suffers drying of foliage and water bodies present, unlike the regional trend, alkaline pH, whatever the nature of the lithic substrate. Alkaline soils showed marked decrease in the availability of assimilable phosphorus in relation to regional soils. Comments and suggestions are presented for improvement of industrial production and environmental protection.

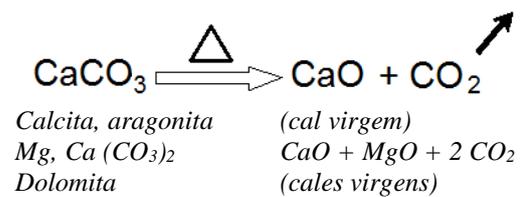
**Keywords:** Environmental contamination, quick lime production.

## INTRODUÇÃO

A produção de cal e seu emprego para construção como elemento agregador para paredes de edificações já é conhecido pela sociedade humana há alguns milênios. Oates (1998) e Nahass & Severino (2003) mencionam como primeiros registros históricos edificações produzidas com argamassas à base de cal na Turquia oriental (14.000 a 7.000 BP), na Iugoslávia (8.000 BP), e em pirâmides do Egito (5.000 BP). No Brasil, a produção de cal foi introduzida por Thomé de Souza, Governador-Geral, em 1549, na região de Salvador-BA, a partir de conchas marinhas (Campos *et al.*, 2007). O produto foi largamente empregado na construção de igrejas e fortificações.

Desde suas concepções mais primitivas, o método convencional guarda o mesmo princípio: cales são produzidas a partir da calcinação de produtos carbonáticos, habitualmente rochas calcínicas ou dolomíticas ou, alternativamente, conchas marinhas. As reações básicas, dependendo se a rocha é calcínica ou dolomítica, são verificadas a

partir de 850° C (Boyton, 1980), conforme as reações (Kesler, 1994):



Em ambos os casos, inegavelmente, este processo industrial possui elevado potencial poluidor em razão de maciça liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, a partir de componentes químicos que estavam complexados na estruturação mineral. Para cada tonelada de cal virgem é necessária 1,75t de calcário, com liberação de 770 kg de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (Shimabokuro & Shiguemoto, 2011), acrescentando-se ainda o montante dependente do agente calcinador utilizado que, sendo um gás natural, propicia uma emissão de CO<sub>2</sub> em torno de 241 kg (Silva, 2009). Até os dias atuais a produção de cales ainda envolve um maciço emprego de madeiras, o agente de calcinação aplicado desde seus primórdios, aí também se incluindo o carvão mineral. Gás natural, BPF e coque de petróleo, foram

introduzidos *a posteriori*, a partir do século XX.

Devido ao seu largo emprego industrial, as suas significativas aplicações na construção civil e na agricultura, e em função da disseminação de jazimentos de rochas carbonáticas em todos os continentes, as cales têm uma enorme produção global e uma consistente disseminação de focos produtivos. Acrescente-se a tudo isto o fato que se trata de um produto industrial de baixo custo, com processamento industrial em princípio simples, o que contribui para sua vasta utilização no planeta. Em função disto já na década de 90 o Brasil era o 6º maior produtor mundial (Parahyba, 2000) e, finalmente, a partir de 2007 ocupa o 5º lugar no ranking internacional (Pereira, 2007), embora sua fatia seja de apenas 2,7% da produção global. Desde então, a produção tem se mostrado estável, em torno de 7,4 mil t/ano (ABPC, 2011). Nestes dados não estão consideradas as produções clandestinas configurando-se, também, a comercialização de produtos sem adequado controle de qualidade, lavras predatórias de jazimentos, e esgotamento de biomassa, posto que, nestes casos, a lenha costuma ser o agente de calcinação.

O consumo da cal nas regiões Sul e Sudeste corresponde a 90% da produção brasileira (ABPC, 2011), com uma repartição dominada pelo emprego em

siderurgia (34%) e na construção civil (31%). A produção nacional está concentrada nas regiões Sul e Sudeste (87%), cabendo apenas 6% à produção da região Nordeste (Pereira, 2007), concentrada na construção civil e na indústria do açúcar. A clandestinidade mineira, o emprego mais significativo e predatório de lenha para calcinação, os baixos níveis de controle da mineração e da qualidade da industrialização, ainda continuam problemas não erradicados da produção brasileira. Por esta razão, o Brasil importa cal, de qualidade:  $2,33 \times 10^3$ t, em 2009 (Teixeira e Silva, 2010).

Além das emissões de CO<sub>2</sub>, a produção de cales envolve o estágio inicial da lavra do minério e sua cominuição primária, para alimentação dos fornos. Em princípio, neste nível, a produção de poeira mineral carbonática é de baixa intensidade, com restrita dispersão na atmosfera e de pouca repercussão de danos para os ecossistemas. Entretanto, no processo industrial subsequente, além da emissão de poluentes, ocorre a geração de poeira de cal, reconhecidamente cáustica e muito reativa. Estas emissões não ocorrem apenas no âmbito das unidades de produção, mas se dispersam na atmosfera, formando em seguida plumas de sedimentação que cobrem indistintamente solos e vegetação.

Observações sobre efeitos patogênicos de poeiras capazes de causar

danos ao sistema respiratório humano estão perto de completar um século desde o amplo trabalho de Hoffman (1918), embora centrado nos Estados Unidos, e realizado em uma época em que os recursos da medicina eram limitados com relação ao tratamento de doenças pulmonares. O autor colocou em evidência que a taxa de mortalidade em razão de óbitos diagnosticados como pneumonia/100.000 habitantes, era de 20 a 300% maior em focos de mineração de mármore (Kentucky, Missouri e Indiana) do que nas localidades circunvizinhas, onde tais atividades mineiras não existiam. Desde então, pesquisas posteriores (Lewis & Crocker, 1969; Souza e Quelhas, 2003; Derbyshire, 2005; dentre outros) catalogaram os principais distúrbios patogênicos provocados pela aspiração crônica de poeiras de cales, que afetam não somente o trato respiratório superior, mas também provocam dermatites e danos oculares severos. Empresas e organismos públicos se reuniram para catalogar a periculosidade, prevenção e remediação destes processos de contaminação (Segal, 2005), culminando com normas técnicas para operacionalizar os domínios da atividade mineira e de processamento de minérios. No Brasil, foram criadas as Fichas de Informações de Segurança para Produtos Químicos (FISPQ), atualizadas

anualmente, conforme a NBR 14725 que contempla as cales.

Estudos referência reportados pela ACGIH (2010) colocaram em evidência que 77% de particulados <10 µm em suspensão na atmosfera são inaláveis se inspirados pelo sistema respiratório humano, uma parte destes terminando por alcançar o sistema alveolar dos pulmões. Cálculos a partir de dados de Fabriès (1993) permitem indicar que uma aspiração nasal por 8 horas/dia, em sistemas fechados, resultaria em aproximadamente 15 mg de material sólido acumulado no trato respiratório superior, ao termo de um ano. Nestas proporções, problemas patogênicos já estariam se manifestando em pessoas que lidam há muitos anos com produção de cal, ainda que o quadro clínico possa se confundir com outras causas de pneumoconiose. De toda forma, o comprometimento de alvéolos pulmonares é de difícil reversibilidade, exige tratamento clínico prolongado, e supressão da presença do paciente no ambiente contaminante.

Fabriès (1993) e Vincent (1995) chamam atenção quando estes particulados são reativos, gerando adicionalmente dermatites alérgicas e irritações na conjuntiva ocular dos contaminados. Nisto se incluem alguns produtos derivados de matérias-primas minerais industrialmente transformadas como, por exemplo: clínquer

de cimento e cal virgem, a partir de rochas carbonáticas. Tais produtos reagem com a água, bastando apenas a umidade do ar para desencadear uma reação exotérmica transformando, no caso específico, cal virgem em cal hidratada.

O fenômeno por contaminação por poeira de calcário cristalino e produção de cal na região de Vertente do Lério já foi abordado por Cunha (2005), que utilizou como biomonitoros líquens (*Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr.). Análises de cromatografia de camada delgada (CCD) e cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) evidenciaram variações metabólicas nestes biomonitoros, alterando a produção de sua substância principal, o ácido fumarprotocetrárico, além do acúmulo de produtos intermediários da sua biossíntese. Os efeitos foram mais evidentes nas amostras colocadas na vicinidade dos centros de emissão e/ou naquelas situadas no eixo da direção predominante dos ventos. Neste mesmo estudo foi realizado um levantamento junto

à Secretaria Municipal de Saúde, referente à saúde respiratória da população de Vertente do Lério, mas não foram catalogados registros significativos na incidência de doenças do aparelho respiratório, apesar das evidentes indicações de poluição demonstradas pelo biomonitoramento.

A mineração e beneficiamento de minérios são, desde longo tempo, reconhecidos como importantes agentes de contaminação ambiental (Figueiredo, 2000; Fuge, 2005). De uma forma geral, efeitos patogênicos resultantes da exposição prolongada a poeiras de diversas naturezas têm sido reconhecidos na literatura (Derbyshire, 2005). Em contraposição, são escassos os dados sobre impactos ambientais provocados por poeiras de cal sobre ambientes aquáticos e solos. Este trabalho se inscreve na averiguação destas situações específicas, a partir de uma região com dispersão de poeira de cal notoriamente visível (Figuras 1 e 2).

Figura 1. Dispersão atmosférica de poeira de cal na área de produção do distrito Serrinha Município de Santa Maria do Cambucá, Estado de Pernambuco.



Fonte: Wando Duarte

Figura 2. Dispersão atmosférica da poeira de cal, desde o foco de produção do Distrito de Serrinha (100 metros de distância), no sentido (E-W) do sistema de ventos na região.



Fonte: Wando Duarte

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

O Município de Santa Maria do Cambucá está localizado no Agreste do Estado de Pernambuco (Figura 3), a 143 km de Recife – capital estadual, limitando-se a norte com o estado da Paraíba, a sul com Frei Miguelinho, a leste com Vertente do Lério e Surubim, e a oeste com Vertente do Lério. A área municipal ocupa 94,06 km<sup>2</sup> e sua sede (coordenadas geográficas: 7°49'45'' S e 35°52'50'' W) situa-se na altitude média de 494 m. Sua população era de 13.021 habitantes em 2009 (IBGE, 2010).

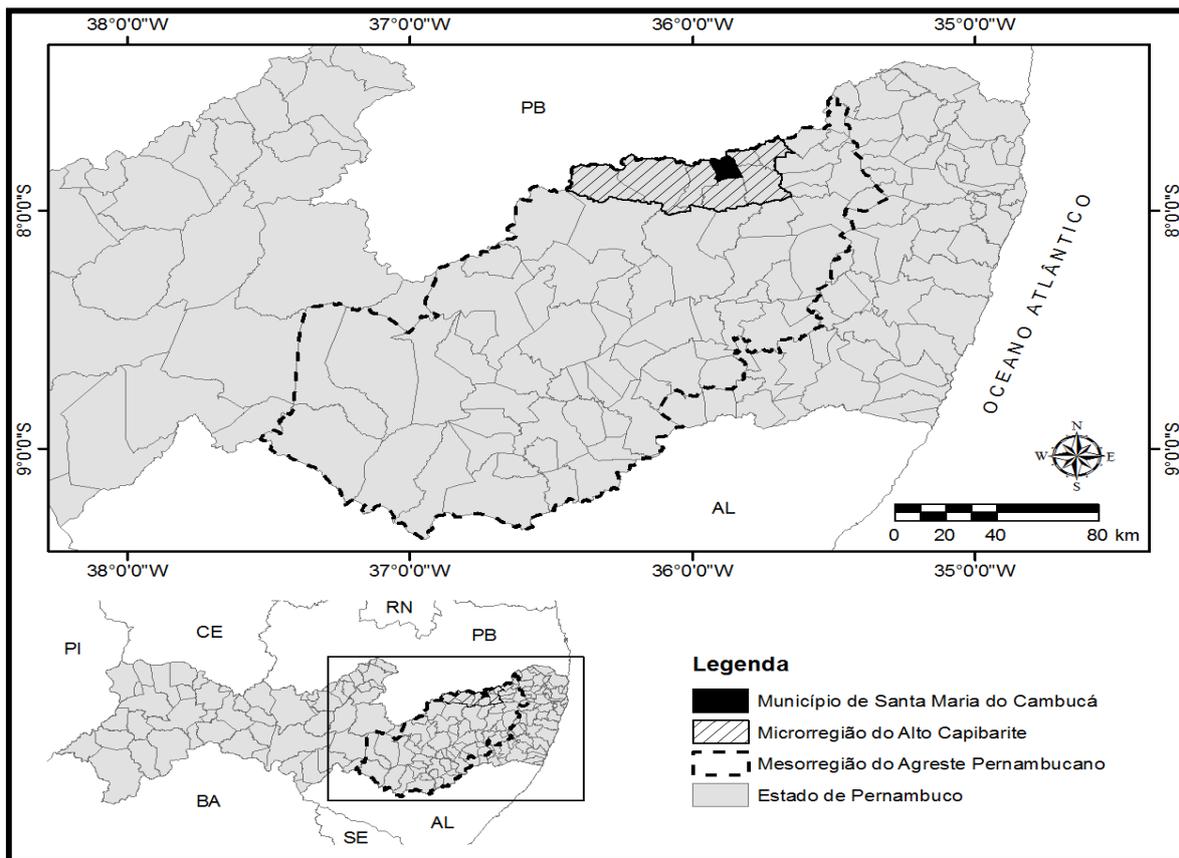
O clima regional é do tipo BShs' (classificação Köppen), semiárido, quente, com chuvas no outono e inverno. O período das chuvas inicia-se em fevereiro/março e pode se estender até agosto. A precipitação média anual (período 1962-1985) é de 648,7 mm, com máximo de 912,8 mm e mínimo de 384,7 mm (CONDEPE/SUDENE, 1987), com temperatura média anual de 25 °C.

Geologicamente, a região encontra-se inserida na Província da Borborema, ocupando altitudes entre 650 a 1.000 m, integradas por superfícies onduladas com relevos residuais altos, unidade que inclui litotipos do Complexo Salgadinho (representado por ortognaisses tonalíticos a

graníticos) e do Complexo Surubim-Caroalina, representado por xistos, gnaisses, quartzitos e calcários cristalinos (Beltrão *et al.*, 2005). As rochas carbonáticas estão justamente incluídas em terrenos do Complexo Surubim-Caroalina, de idade proterozóica. O mapeamento específico desta litologia foi apresentado por Holanda (1987). Dentro deste domínio foi selecionada uma área de aproximadamente 30 km<sup>2</sup> (Figura 4), dentro da qual ocorrem corpos hídricos represados (açudes e barragem), e focos de produção de cal e de corretivo agrícola que já operam ininterruptamente neste perímetro desde muitos anos. A calcinação é feita com queima de madeira que vem da região, já bem devastada em sua cobertura vegetal, e do vizinho estado da Paraíba.

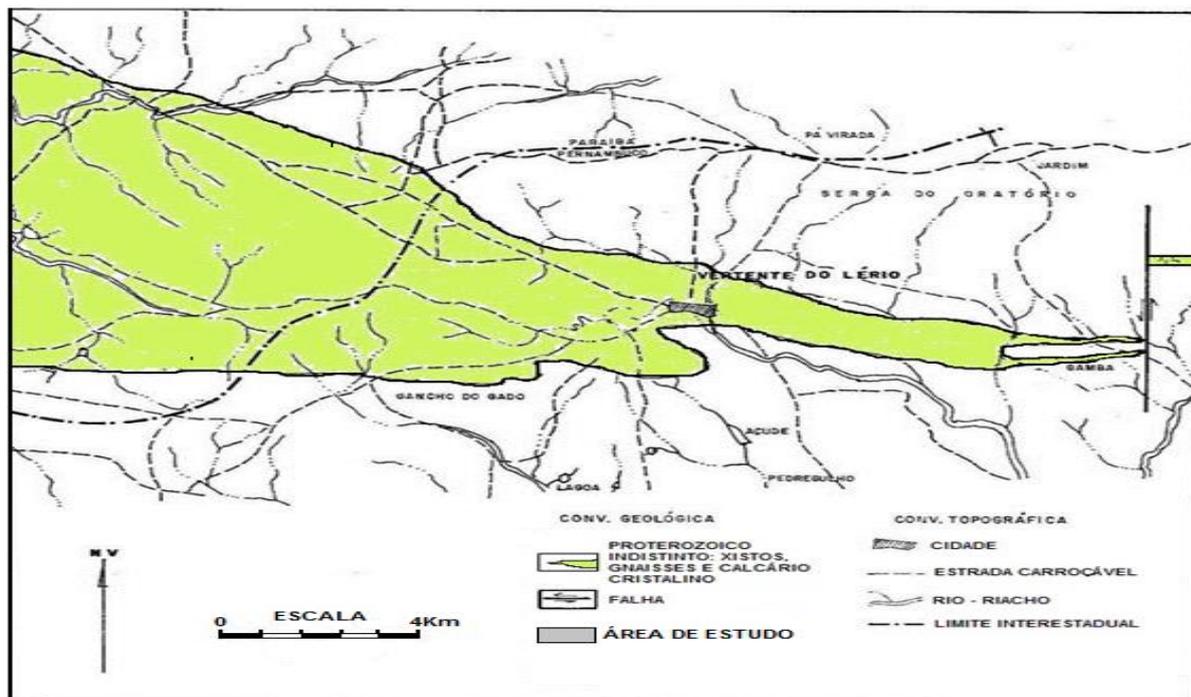
O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) do município de Santa Maria do Cambucá é de 0.566 (CONDEPE/FIDEM, 2003), considerado de padrão médio, porém sendo um dos mais baixos dentre outros de municípios pernambucanos. A economia regional é fortemente dependente dos produtos derivados do beneficiamento dos calcários cristalinos, ou seja: cales e calcários corretivos.

Figura 3. Localização da área de pesquisa, no Município de Santa Maria do Cambucá, PE.



Mapa: Elaborado por Deivide Soares

Figura 4. Extensão oriental da litologia carbonática do Complexo Surubim-Carolina, nos Estados da Paraíba e Pernambuco, com localização da área pesquisada.



Fonte: adaptado de Holanda, 1987.

## MATERIAL E MÉTODOS

A amostragem seguiu indicações do modelo de avaliação *screening* adotado pela CETESB/GTZ (1999), incluindo-se águas de superfície e solos, para abordar e caracterizar os impactos ambientais provocados pela sedimentação de poeira de cal. Adicionalmente, através de análises químicas, foram conferidos os critérios de qualidade das matérias-primas minerais utilizadas para produção de cal carbonática e corretivos agrícolas.

A amostragem dos corpos hídricos incluiu águas de superfície (profundidade média: 25 cm) de corpos d'água com diferentes dimensões e situações geográficas, para permitir o estabelecimento de padrões regionais comparativos. Foram escolhidos quatro corpos hídricos, dois deles expressamente externos a plumas de dispersão de poeira de cales. As coletas foram realizadas em duas operações de campo, uma na estação das chuvas e outra na estação seca, em dias claros, seguindo-se procedimentos recomendados pela A.P.H.A. (2001). Nesta rotina, cada amostra foi acondicionada em recipientes de poliestireno, previamente lavados internamente com solução de  $\text{HNO}_3$  2%, procedendo-se a relavagem interna *in situ* com água natural da estação de amostragem. Em cada caso, foi realizada filtração com kit específico dotado de

filtro 0,45  $\mu\text{m}$ , seguindo-se um resfriamento e estocagem a 4 °C, até os procedimentos analíticos laboratoriais.

Em cada estação foram analisados: potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD) e condutividade, com auxílio de um equipamento OAKTON modelo WP 600, dotado de sensores ou extensões específicas para cada um desses parâmetros. Análises químicas de cloretos, bicarbonatos totais e sulfatos, foram realizadas no LAMSA/UFPE, conforme rotinas preconizadas pela APHA (2001).

Amostragens da parte superior do horizonte B de solos foram realizadas em algumas estações estrategicamente localizadas (estações A, B, C e D), para avaliação da extensão da pluma de dispersão atmosférica da poeira de cal. Acondicionadas em sacos plásticos, estas amostras foram expedidas para o Laboratório de Química de Solos da UFRPE, para determinações de: fósforo ( $\text{P}^{5+}$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ), acidez ativa (pH em água), soma de bases, conforme metodologias propostas pela Embrapa (1997).

Análises químicas de reconhecimento foram realizadas sobre amostras dos calcários cristalinos calcítico e dolomítico do setor de mineração de Serrinha. As amostras homogeneizadas e

cominuídas 100% <200 mesh, foram expedidas para o Actlab's, Ontario-Canadá, para análises dos óxidos fundamentais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes às águas de superfície de corpos d'água represados se referem a situações diferenciadas

(Tabela 1; Figura 5), expressamente escolhidas para demarcação dos contrastes entre valores que seriam de *background* regional em relação a valores anômalos, antropicamente influenciados pela área de produção industrial e a dispersão de poeira de cal (Tabela 2).

Tabela 1. Características dos corpos represados amostrados na área de pesquisa.

Corpo d'água		Substrato	Estimativa do reservatório	Observações
Amostra	(designação)			
Pw-1	Pequeno represamento	Biotita-Xisto	1.000-1.500 m <sup>3</sup>	Vicinal a foco
Pw-2	Barragem Caiai	Biotita-Xisto	40.000 -50.000 m <sup>3</sup>	Industrial (Serrinha) padrão background
Pw-3	Open pit inundado	Calcário cristalino	1.000-1.500 m <sup>3</sup>	Área mineira
Pw-4	Pequeno açude	Calcário cristalino	1.500-2.000 m <sup>3</sup>	Vicinal à cidade (Vertente do Lério)

Figura 5. Foco de produção de cal, no distrito de Serrinha, Município de Sta. Maria do Cambucá, com indicações dos pontos de amostragem de solo e da pluma (detectada) de contaminação da poeira de cal.



Imagem do Google Earth, agosto 2007.

**Figura 6.** Localização dos pontos de amostragem nos Mun. Sta. Maria do Cambucá e Vertente do Lério

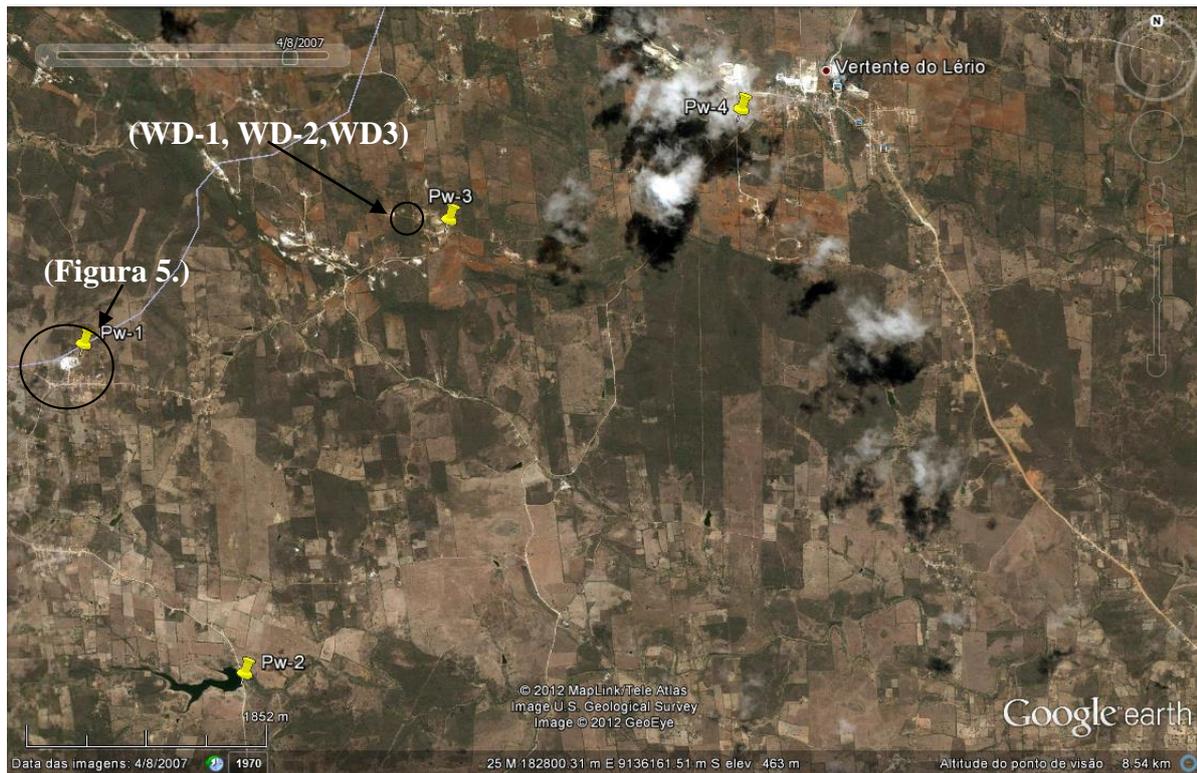


Imagem do Google Earth, agosto 2007.

Os resultados analíticos revelaram que o corpo hídrico vicinal a focos de produção de cal (Pw-1) é claramente influenciado por influxos deste produto, solubilizado, de tal forma que seu pH tende a ser permanentemente alcalino. Em contraposição, corpos hídricos distanciados destes focos industriais, mantêm características levemente ácidas. Aparentemente, mesmo em casos de substrato lítico carbonático, as águas não se tornam alcalinas em curto prazo de tempo, principalmente durante a estação das chuvas.

A influência de um substrato de calcário parece ser efetiva quando o volume

d'água represado torna-se muito reduzido (durante a estiagem), permanecendo a dúvida se por drástica redução do solvente evaporado ou se em função de aumento de bicarbonatos no meio aquático, a partir de dissoluções em nível deste substrato.

As concentrações em sulfatos  $<100 \text{ mg.L}^{-1}$  podem ser consideradas normais (Meybeck, 1981), fazendo exceção o pequeno açude nas proximidades de Vertente do Lério (amostragem Pw-4, em período de estiagem), cujo valor está possivelmente influenciado pelo processo de calcinação para produção de cal, existente na zona urbana. Em contraposição, as

concentrações em cloretos, de uma forma geral, podem ser consideradas elevadas ( $>100 \text{ mg.L}^{-1}$ ), não sendo possível atribuir tais valores à influência da natureza do *substratum* lítico, uma vez que águas represadas em embasamento cristalino constituído de minerais félsicos apresentam habitualmente teores em torno de  $10 \text{ mg.L}^{-1}$  (Chester, 2000). Valores anômalos combinados de sulfatos e cloretos, observados no pequeno açude vicinal de Vertente do Lério, parecem confirmar interpretações que relacionam esta afinidade hidrogeoquímica a efluentes urbanos como fontes (Singh *et al.*, 2005), sendo resultado da associação de influxos contendo produtos organoclorados domésticos em solução, assim como a condensação de vapores da queima de combustíveis em rocios.

Os resultados em OD mostraram, para todos os corpos d'água, valores elevados ( $>7 \text{ mg.L}^{-1}$ ) durante a estação seca, e sensivelmente baixos ( $<2 \text{ mg.L}^{-1}$ ) na estação de chuvas. Como Pw-1 e Pw-4 estavam com águas em nível muito baixo, exibindo tonalidade esverdeada, acredita-se que estes valores, durante a estiagem, sejam influenciados por forte disseminação de microalgas, produzindo um efeito de forte elevação no nível de fotossíntese.

Os calcários cristalinos locais exibem textura média a grosseira, interdigitações líticas dos tipos calcítico e

dolomítico, e forte índice de fraturamento (Holanda, 1987), sendo pouco indicados para produção de placas lustradas, mesmo em escala de bloquetes. Esta alternativa exigiria uma produção seletiva, de baixa produtividade.

O sistema de mineração local é empírico. A experiência do minerador local funciona, em princípio, para separação empírica de rochas calcíticas das dolomíticas, mas não sem ocorrências de equívocos comprometedores. Por conseguinte, torna-se também empírico o controle de qualidade sobre os produtos deles decorrentes. Apesar destas ressalvas, dados analíticos produzidos a partir de algumas amostras coletadas nos locais de lavra ofereceram resultados (Tabela 3) *grosso modo* concordantes com os critérios empíricos de seleção praticados na região. Tais resultados, embora pontuais, indicaram que os calcários cristalinos calcíticos possuem concentrações elevadas em carbonatos totais ( $>90\%$  em rocha total – RT), mas que em parte são dolomíticos: em torno de 6% RT (Tabela 4). Além disto, há uma participação relevante em silicatos, essencialmente quartzo e acessoriamente muscovita, perfazendo cerca de 7% em RT. Desta forma, a qualidade da matéria-prima para cales calcíticas é em parte prejudicada, considerando-se destinações mais nobres. Isto explica em parte a perda de mercado para os produtos de Mossoró-RN,

produzidos a partir de calcários sedimentares com concentrações menores em silicatos e dolomita.

Figura 7. Detalhe da área-foco de produção de cal, com visão parcial da unidade de calcinação (primeiro plano) e pequeno represamento (estação Pw-1).



Fonte: Wando Duarte

Figura 8. Vista aérea do açude Caiai, na estrada de acesso Vertente do Lério – Serrinha, com indicação da estação de amostragem Pw-2.



Imagem do Google Earth, julho 2007.

Tabela 2. Sumário dos resultados analíticos de águas superficiais represadas na região de Santa Maria do Cambucá, Pernambuco

Amostragem	UTM		Período	Temp	pH	Condut.	STD	NaCl	O.D.	Sulfatos	Alcalinidade
	Latitude/Longitu	de	do ano	°C		elétrica	ppm	mg.L <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	e CaCO <sub>3</sub>
						μS.cm <sup>-1</sup>					em mg.L <sup>-1</sup>
Pw-1 (Figura 6)	9137686	17986 4	Inverno	28,8	8,16	172,1	108,6	93	1,36	72,9	60,2
			Verão	27,4	7,80	330,1	185,5	163,2	7,72	22,1	96,7
Pw-2 (Figura 7)	9135040	18112 7	Inverno	27,0	6,47	722,0	441,0	383,1	1,74	38,8	65,2
			Verão	26,9	6,66	889,2	496,6	444,7	8,05	30,9	76,6
Pw-3 (Figuras 8 e 9)	9138662	18269 5	Inverno	27,5	6,72	259,0	159,0	136,6	1,72	72,9	75,2
			Verão	Seco durante a estiagem							
Pw-4 (Figura 10)	9139536	18497 6	Inverno	26,7	6,55	191,4	111,6	103,3	0,94	46,8	80,2
			Verão	29,8	9,13	1976,0	1207,0	1031,0	13,92	143,6	79,9

Obs. Análises *in situ* com equipamento OAKTON, modelo WP-600: Temperatura, pH, condutividade, OD, TDS. Análises realizadas no LANSÁ/UFPE, conforme metodologias proposta pelo APHA (2001): Sulfatos, alcalinidade em CaCO<sub>3</sub> e cloretos.

Figura 9. Água represada em cava da mineração de calcário cristalino, na estação de chuvas.



Estação de amostragem Pw3

Figura 10. Imagem Google Earth (julho/2007) mostrando várias cavas de mineração de calcários cristalinos, e a estação de amostragem Pw-3



Imagem do Google Earth (julho/2007)

Figura 11. Localização da estação de amostragem Pw-4 e da cidade de Vertente do Lério



Imagem do Google Earth (julho/2007)

Tabela 3. Análises químicas de calcários cristalinos de Sta. Maria do Cambucá, PE.

Amostragem	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	P.F.	Nº amost.	Obs.
Holanda (1987)	---	---	---	7,44	42,43	41,17	36	Média
WD-1	7.62	0,55	0.41	1.79	49.04	40.18	1	(*)
WD-2	6.60	0.33	0.27	1.20	51.03	40.57	1	(*)
WD-3	13.21	0.59	0.78	14.93	29.84	39.81	1	(*)

(\*) = Este trabalho (análises: Actlab's, Ontario-Canadá)

Tabela 4. Composição RT aproximada de calcários cristalinos da região de Santa Maria do Cambucá, distrito de Serrinha.

Amostra	Quartzo	Calcita	Dolomita	Acessórios	Σ
WD-1	7.5	84.9	6.5	0.9	99.8
WD-2	6.5	87.5	5.5	0.7	100.2
WD-3	14.0	16.2	68.3	1.4	99.9

A amostragem de calcário corretivo (WD-3) mostrou concordância com o padrão analítico exigido pelo Ministério da Agricultura ( $MgO \geq 12\%$ ) (MAPA, 2007), embora com participações algo elevadas em silicatos RT, o que compromete uma melhor performance para seu PRNT.

Análises químicas dos solos (Tabela 5) colocaram em evidência que nas condições litogênicas regionais o pH apresenta variações dentro de uma faixa considerada ideal ( $pH = 6$  a  $7$ ), sem presença significativa de alumínio livre. Neste aspecto, se encontram em condições de “ótimo” produtivo para a maioria dos

cultivos conhecidos (Malavolta, 2006). Faz exceção a amostragem D dos solos, situada em domínios da pluma de dispersão atmosférica da poeira cal, onde o pH francamente alcalino compromete a disponibilidade de nutrientes para as plantas. A alcalinidade é comum em solos onde a pluviometria é baixa possibilitando o acúmulo sais de cálcio, magnésio, potássio e carbonato de sódio, capazes de saturar o complexo coloidal (Kiehl, 1993). Solos alcalinos são, naturalmente, característicos da maioria das regiões áridas e semiáridas da Terra, não sendo o caso específico da área pesquisada.

Tabela 5. Resultados das análises de solos (parte superior do horizonte B), na área produtora.

Amostra	pH	P	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>
	(água -1:2,5)	(mg/dm <sup>3</sup> )	-----mmol/dm <sup>3</sup> -----				
A	6,36	27	0,17	0,43	4,57	2,75	nd
B	6,53	26	0,14	0,90	3,00	1,65	nd
C	6,80	31	0,04	0,10	2,00	1,10	nd
D	8,10	13	0,12	0,41	4,25	2,65	nd

nd = abaixo do nível de detecção (0,01 mmol/dm<sup>3</sup>)

A produção de calcários corretivos e de cal já existe no Município de Santa Maria do Cambucá-PE desde várias décadas, porém dominada por processos industriais artesanais (Dantas, 1980; Holanda, 1987). Este *status quo* ainda predomina, produzindo-se ainda com

caieiras cuja concepção é tão antiga como aquelas dos tempos de Brasil colônia (Figura 12), sem sistemas de filtragem ou de retenção da poeira de cal. A calcinação é feita com queima de lenha de áreas vizinhas, já bem devastadas em sua cobertura vegetal. Dados de Silva (2009) demonstram que este

sistema de calcinação, além da inerente agressão aos biomas próximos ao foco de industrialização, é o que mais demanda energia por tonelada produzida de cal virgem.

A produção de derivados a partir dos calcários cristalinos é de 1000 t/dia, envolvendo 300 pedreiras, nove indústrias de beneficiamento e cerca de 2.000 pessoas, em grande parte não formalmente empregada (Prefeitura Municipal de Santa

Maria do Cambucá). Da mineração à comercialização, o contingente de trabalhadores perfaz cerca de 30% da força de trabalho municipal. Apesar destes números não existe nenhuma associação, ou sindicato, que os congregue, nem mesmo uma organização em cooperativa que reúna investidores e/ou interessados.

Figura 12. Caieira da região de Santa Maria do Cambucá-PE; visão da boca de alimentação do material para calcinação (lenha)



Fonte: Wando Duarte

Considerados os processos rudimentares da produção em caieiras, os dados coletados apontando apenas convergências em distintas respostas de entrevistados, dão conta da precariedade produtiva, do deficiente rendimento operacional do sistema, e de sua baixa relação custos/benefícios. Na prática, uma

fornada produzindo em torno de 80 t de cal virgem ocupa a unidade de produção por cerca de 14 dias: três deles para carregamento, sete de calcinação ininterrupta, três para resfriamento e descarregamento, e um dia para limpeza e preparação para a fornada subsequente. Para assegurar o provimento de matéria-

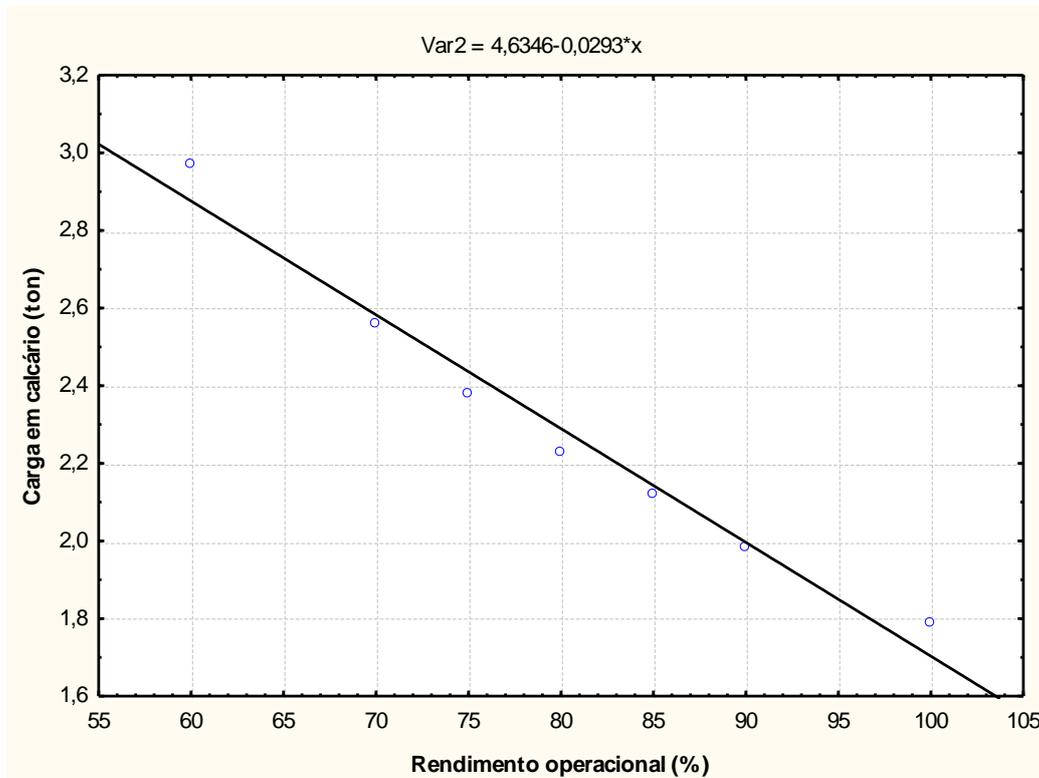
prima mineral, parte do minério a ser beneficiado é adquirida e transportada a partir de pedreiras distantes de 4 a 5 km. As indicações de consumo são de 4,75 m<sup>3</sup> lenha/t cal, o que levaria este item a R\$ 53,30/t cal na planilha de custos, ou seja, cerca de 25% da receita bruta inicial da comercialização de cada tonelada deste produto (R\$ 200,00/t cal). Admitindo como confiável pelo menos a produção da fornada (80 toneladas), uma vez que pode ser aferida em termos de produto comercializado (o restante seriam perdas por ineficiências diversas), pode-se considerar a eficiência da calcinação (Figura 13), pela relação indicada no local: duas toneladas de calcário para produzir uma de cal.

A produção de derivados a partir dos calcários cristalinos é de 1000 t/dia, envolvendo 300 pedreiras, nove indústrias de beneficiamento e cerca de 2.000 pessoas, em grande parte não formalmente empregada (Prefeitura Municipal de Santa Maria do Cambucá). Da mineração à comercialização, o contingente de trabalhadores perfaz cerca de 30% da força de trabalho municipal. Apesar destes números não existe nenhuma associação, ou sindicato, que os congregue, nem mesmo uma organização em cooperativa que reúna investidores e/ou interessados.

Considerados os processos rudimentares da produção em caeiras, os

dados coletados apontando apenas convergências em distintas respostas de entrevistados, dão conta da precariedade produtiva, do deficiente rendimento operacional do sistema, e de sua baixa relação custos/benefícios. Na prática, uma fornada produzindo em torno de 80 t de cal virgem ocupa a unidade de produção por cerca de 14 dias: três deles para carregamento, sete de calcinação ininterrupta, três para resfriamento e descarregamento, e um dia para limpeza e preparação para a fornada subsequente. Para assegurar o provimento de matéria-prima mineral, parte do minério a ser beneficiado é adquirida e transportada a partir de pedreiras distantes de 4 a 5 km. As indicações de consumo são de 4,75 m<sup>3</sup> lenha/t cal, o que levaria este item a R\$ 53,30/t cal na planilha de custos, ou seja, cerca de 25% da receita bruta inicial da comercialização de cada tonelada deste produto (R\$ 200,00/t cal). Admitindo como confiável pelo menos a produção da fornada (80 toneladas), uma vez que pode ser aferida em termos de produto comercializado (o restante seriam perdas por ineficiências diversas), pode-se considerar a eficiência da calcinação (Figura 13), pela relação indicada no local: duas toneladas de calcário para produzir uma de cal.

Figura 13. Regressão linear com base estequiométrica permitindo estimar o rendimento operacional de uma fornada, considerada uma carga variável de alimentação/tonelada de cal produzida.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Independentemente do que ocorre com a produção de cal e de corretivos agrícolas, onde não há efetivo controle da qualidade dos produtos comercializados, a lavra não é sistemática e é certamente ambiciosa, os critérios de proteção da integridade física do trabalhador não são observados, evidencia-se neste estudo a existência de plumas de dispersão de poeira de cal afetando a vegetação, a qualidade das águas em ambientes aquáticos represados, a qualidade dos solos e, com todas as

evidências, a saúde daqueles vivendo nos espaços geográficos destas plumas. O distrito de Serrinha não é o único foco de produção de cales, nesta região do estado de Pernambuco.

A evidência de forte dispersão mecânica de poeira de cal (e da produção de calcários corretivos), na área estudada, é visível em imagens-satélite (rever figura 5). A área de produção industrial e extenso domínio de vegetação estão francamente recobertos pela poeira da produção de cal (rever figuras 1 e 2). Como o sentido predominante dos ventos regionais é E-W, a pluma de dispersão mecânica desta poeira

se estende por pelo menos 200 metros neste sentido, a julgar por seu impacto sobre o pH de solos. Em outro caso estudado, Fallenberg (2000) registrou sedimentação de poeira de cal sobre solos distanciados de 2 km do foco de emissão, o que significa que o alcance deste tipo de poluição depende de muitos fatores tais como: regime dos ventos, tamanho dos particulados, e altitude relativa e altura do ponto de emissão. No escopo de um *screening*, a pluma de Serrinha pode ser mais extensa que os já definidos 200 metros de extensão.

Os jazimentos de calcário cristalino são extensos, porém não estão mapeados em detalhe no que concerne lentes dos tipos calcítico e dolomítico. Estes específicos jazimentos não possuem o status de “reservas medidas”. As relações geométricas entre lentes de diferentes naturezas não são conhecidas, e tampouco suas qualificações químicas e mineralógicas. Assim sendo, o estado de conhecimento das contaminações contidas nestas matérias-primas é precário, se considerarmos as múltiplas aplicações industriais que estas rochas podem propiciar, bem especificadas em Oates (1998), Sampaio e Almeida (2005), e outros. Em consequência, não há planos de lavra, e sim “nichos” de matéria-prima, empiricamente controlados e explorados segundo demandas do mercado

consumidor. Pode-se aduzir que tais reservas estejam sendo, pelo menos circunstancialmente, operacionalizadas em condições de lavra predatória.

O sistema de calcinação a lenha, primitivo por sua natureza, é de baixa relação custo/benefício, e é um vetor fortemente agressor para a preservação do bioma “caatinga”. Assim, parece óbvia a necessidade de um programa de modernização destes processos de calcinação, possivelmente através da organização em cooperativas e com incentivos fiscais, além de facilidades de empréstimos de longo prazo, para substituição das unidades atuais por fornos industriais a BPF, coque de petróleo, ou gás natural.

Nos sistemas operacionais de lavra e beneficiamento, pouca a nenhuma proteção individual é oferecida ou praticada pelo operário. Similar vulnerabilidade ocorre com a contaminação ambiental atmosférica, comprovadamente nefasta para a fertilidade dos solos cobertos pela dispersão mecânica da poeira de cal. Adicionalmente, ela é particularmente agressiva para as gramíneas, “queimando o pasto”, devido à alta reatividade da cal. A mitigação deste processo contaminante poderia ser proporcionada com cortinas de retenção de poeira, dispostas ortogonalmente ao sentido E-W dos ventos dominantes. Trata-se de um sistema

simples da Engenharia Civil, utilizado em zonas urbanas, em reformas e construção de prédios, para proteger os habitantes da dispersão de poeira gerada pelos trabalhos em áreas vicinais da obra.

## BIBLIOGRAFIA

ABPC, 2011. Indústria de cal mantém patamar de produção estável. São Paulo, *Ass. brasil. Prod. Cal*, Rel. Técn., 1 p. (inédito).

ACGIH, 2010. TLVs and BELs (threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, *Amer. Conf. for Environm. Industr. Hygienists*, p. 272.

A.P.H.A., 2001. Standard methods for examination of water and wastewater. Washington, *Amer. Public Health Assoc.*, Chap. 1, p. 34-38 (20<sup>th</sup> ed.).

BELTRÃO B.A., MASCARENHAS J.C., MIRANDA J.C.F., SOUZA JÚNIOR L.C., GALVÃO M.J.T., PEREIRA S.N., 2005. *Diagnóstico do Município de Vertente do Lério*. Recife, CPRM, Projeto Cadastro Fontes Abast. Água Subterrânea Estado de Pernambuco, 10 p.

BOYTON R., 1980. *Chemistry and technology of lime and limestone*. New York, John Wiley & Sons, 578 p.

CAMPOS M.A.N., REIS A.S., Tristão F. A., Rocha-Gomes L.V., 2007. *A utilização da cal conchífera em monumentos históricos no Espírito Santo*, *Comun. Técnica*, 10 p. Disponível em [www.apfc.pt/congresso](http://www.apfc.pt/congresso) 2007/comunicações; acessado em 15/06/2012.

CHESTER R., 2000. *Marine Geochemistry*. London, Blackwell Sci., 491 p.

CETESB/GTZ, 1999. *Métodos de "screening"*. S. Paulo, CETESB, Rel. Técn. 6100, 9 p. (inédito)

CONDEPE/SUDENE, 1987. *Zoneamento pedoclimático do Estado de Pernambuco*. Recife, Condepe/Sudene, 8 vol. e anexos.

CONDEPE/FIDEM, 2003. *Pernambuco: dados socioeconômicos*. Recife, Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. Disponível em: [www2.condepefidem.pe.gov.br/document](http://www2.condepefidem.pe.gov.br/document) Acessado em 15/06/2012.

CUNHA M.H.A., 2005. *Biomonitoramento da qualidade de Vertente do Lério-PE, e sua correlação com a ocorrência de doenças pulmonares*. Recife, UFPE/MGPA, Diss. Mestrado, 102

DANTAS R.A., 1980. *Mapa Geológico do Estado de Pernambuco*. Recife, DNPM/Minérios de Pernambuco, Sér. Mapas e Cartas Síntese, N° 1, 66 p.

DERBYSHIRE E., 2005. Natural aerosolic mineral dusts and Human health. *In: Essentials of Medical Geology*; O. Selinus, B. Alloway, J.A. Centeno, R.B. Finkelman, R. Fuge, U. Lindh, P. Smedley (Editors). Amsterdam, Elsevier, p. 459-479.

EMBRAPA, 1997. *Manual e métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira Pesquisas Agropecuárias – EMBRAPA, Ed. Embrapa, 496 p. (2<sup>a</sup> Ed.).

FABRIÈS I.F., 1993. Calculation of the physical characteristics of deposited particles in the respiratory airways. *Jour. Aerosol Medicine*, 6: 22.

FALLENBERG G., 2000. *Introdução aos problemas da poluição ambiental*. São Paulo, Edit. Pedagógica Universitária, 200 p. (2<sup>a</sup> ed.).

FIGUEIREDO B.R., 2000. *Mineração: efeitos no meio ambiente e saúde*

- humana. In: *Minérios e Ambiente*; B.R. Figueiredo (Ed.). Campinas, Ed. Unicamp, cap. 18, p. 325-338.
- FUGE R., 2005. Anthropogenic sources. In: *Essentials of Medical Geology*; O. Selinus, B. Alloway, J.A. Centeno, R.B. Finkelman, R. Fuge, U. Lindh, P. Smedley (Editors). Amsterdam, Elsevier, p. 43-58.
- HOFFMAN F.L., 1918. *Mortality from respiratory diseases in dusty trades (inorganic dusts)*. Washington, US Dep. Labor, Techn. Doc. 17, 443 p.
- HOLANDA C., 1987. Calcários de Pernambuco: rochas para fins industriais. Recife, SICOM – Minérios de Pernambuco, 229 p.
- IBGE, 2010. *Estimativas da população para 1º de julho de 2009*. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acessado em 30/11/2011.
- KIEHL E.J., 1993. *Fertilizantes organominerais*. Piracicaba, Ed. Agronômica Ceres, 189 p.
- LEWIS C.J. & CROCKER B.B., 1969. The lime industry's problem of airborne dust. *Jour. Air Pollut. Control Assoc.*, **19(1)**: 31-39.
- MALAVOLTA E., 2006. *Manual de Nutrição Mineral de Plantas*. São Paulo, Edit. Agronômica Ceres, 638 p.
- MAPA, 2007. I.N.nº 5 – Brasília, Min. da Agric. Pecuária e Abastecimento
- MEYBECK M., 1981. Pathways of major elements from land to ocean through rivers. In: *River inputs to ocean systems*; J.-M. Martin, J.D. Burton & D. Eisma (Eds.). Paris, UNEP/UNESCO, p. 18-30.
- NAHASS S. e SEVERINO J., 2003. *Calcário agrícola no Brasil*. Rio de Janeiro, MCT-CETEM, Sér.Estudos e docum., 55, 75 p.
- OATES J.A.H. (1998). Lime and Limestone: Chemistry and Technology, Production and Uses. New York, Wiley-VCH, 399 p.
- PARAHYBA R.E.R., 2000. Perfil da cal. Brasília, MME-DNPM, *Anuário estatístico mineral*, p. 35-36.
- PEREIRA L.S., 2007. A indústria da cal no Brasil. Rio de Janeiro, CETEM, XVII *Jorn. Inic. Científica*, p. 178-184.
- SAMPAIO J.A. e Almeida S.L.M., 2005. Calcário e dolomito. In: *Rochas & Minerais Industriais*. Rio de Janeiro, MCT-CETEM, p. 327-349.
- SEGAL B., 2005. *Material safety data sheet (MSDS) for limestones*. Oldcastle, Oldcastle Ind. Minerals, conf. report, 5 p. Disponível em [www.myoldcastle.com/.../limestone\\_MS\\_DS.pdf](http://www.myoldcastle.com/.../limestone_MS_DS.pdf). Acessado em 12/07/2012.
- SINGH K.P., MALIK A., SINHA S., 2005. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques - a case study. *Analytica Chim. Acta*, **538**: 355-374.
- SHIMABOKURO E. e SHIGUEMOTO W.I., 2011. *Emissões na produção de cal*. S. Paulo, CETESB, Rel. Referência, 22 p.
- SILVA J.O., 2009. Perfil da cal. *J. Mendo Consult.*, Rel. RT 72, 33 p.
- SOUZA W.F. e Quelhas O.L.G., 2003. Avaliação e controle da exposição ocupacional à poeira na indústria da construção. *Ciênc. Saúde Colet.*, **8(3)**: 801-807.
- TEIXEIRA J.A.A.B. e Silva O.A., 2010. Perfil da cal. In: *Anuário estatístico mineral*. Brasília, MME-DNPM, 2 p. Disponível em:

<https://sistemas.dnrm.gov.br/publicacao>.  
Acessado em 12/06/2012.

VINCENT J.H., 1995. *Aerosol science for industrial hygienists*. Amsterdam, Elsevier, 411 p. (5th Ed.