

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,
METALÚRGICA E DE MATERIAIS
PPGE3M

ROBERTO BORTOLOTTO

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE REJEITOS DA
EXTRAÇÃO DE CARVÃO MINERAL NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE
CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS

PORTO ALEGRE
2017

ROBERTO BORTOLOTTO

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE REJEITOS DA
EXTRAÇÃO DE CARVÃO MINERAL NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE
CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais PPGE3M da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial a obtenção do título de mestre na modalidade acadêmico.

Orientador: Prof. Dr. Rejane Maria Candiota
Tubino

Porto Alegre
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-reitor: Jane Tutikian

ESCOLA DE ENGENHARIA

Diretor: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Vice-Diretora: Carla ten Caten

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Coordenador: Carlos Pérez Bergmann

Vice-Coordenador: Afonso Reguly

CIP - Catalogação na Publicação

Bortolotto, Roberto

Estudo da viabilidade técnica da utilização de rejeitos da extração de carvão mineral na fabricação de blocos de concreto para pavimentação de vias públicas / Roberto Bortolotto. -- 2018.

94 f.

Orientadora: Rejane Maria Candiota Tubino.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Pavimentação de estradas. 2. Rejeito de carvão. 3. Estudo da viabilidade. I. Tubino, Rejane Maria Candiota, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ROBERTO BORTOLOTTO

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE REJEITOS DA
EXTRAÇÃO DE CARVÃO MINERAL NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE
CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS

Esta dissertação foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de mestre em ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas e de Materiais PPGE3M da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientadora - Prof^a Dra Rejane Maria Candiota Tubino

Aprovado em ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Alexandre Knop Prof. Dr. - UNILASSALE

Rodrigo de Almeida Silva Prof. Dr. - IMED

Vinícius Martins Prof. Dr. - IFSUL- Campus Sapucaia do Sul

Dedico este trabalho a minha esposa
Silvia Helena Candido Bortolotto e meus
filhos Felipe e Fabiane Cândido
Bortolotto pelo apoio e a compreensão
das horas em que estive ausente.

AGRADECIMENTOS

A Associação Beneficente da Industria Carbonífera de Santa Catarina – SATC pela oportunidade de realização deste trabalho, ao Engenheiro André Taboada Escobar da Carbonífera Metropolitana e ao Sr. Neri, responsável pela fábrica de blocos de concreto para pavimentação de vias públicas da cidade de Criciúma, pelo apoio e colaboração na produção dos blocos de concreto base desta pesquisa. Ao Prof. Doutor Jaime Alvares Spim Junior, que Infelizmente um trágico acidente nos privou do seu convívio, que na primeira versão do meu trabalho tive o privilégio de tê-lo como orientador, e como um amigo, não deixava que as dificuldades enfrentadas durante o processo de construção do mesmo, se transformassem em barreiras intransponíveis.

Um agradecimento todo especial a Prof^a Dra Rejane Maria Candiota Tubino que no momento em que eu estava sem perspectivas de dar continuidade ao meu trabalho, em virtude da perda do meu orientador, ela de pronto me acolheu e passou a me orientar, possibilitando assim a conclusão desta importante etapa de meus estudos.

RESUMO

O presente trabalho mostra os resultados obtidos no estudo da utilização do rejeito bruto da extração de carvão mineral como agregado miúdo na produção de blocos de concreto para pavimentação de vias públicas. Neste trabalho os blocos de concreto foram produzidos na fábrica da prefeitura de Criciúma, que está situada nas dependências do Presídio Municipal Santa Augusta. Esta fábrica proporciona uma opção de trabalho aos apenados que adquiriram o direito de cumprirem suas penas em regime semiaberto, cumprindo assim, um importante papel social na ressocialização destas pessoas, além de produzir o material de revestimento, que é aplicado nas vias públicas do município, a um custo bastante atraente. Durante a produção das amostras dos blocos de concreto com o rejeito de carvão, procurou-se ao máximo não alterar o processo desenvolvido na fábrica onde são produzidos os blocos de concreto empregados na pavimentação das vias públicas de Criciúma. Sendo assim, a única alteração imposta às amostras foi a substituição proporcional do agregado miúdo natural, areia lavada, pelo agregado de rejeito de carvão mineral, nas proporções de 25%, 50%, 75% e 100%. O lote de estudo contou ainda com a produção de blocos de concreto sem adição de rejeito de carvão, que teve como função servir de base comparativa para as análises de compressão, abrasão e absorção de água. Posteriormente foi realizado um estudo para avaliar a possibilidade de geração, pelos blocos de concreto, de drenagem ácida de mina (DAM), que é a principal fonte de poluição do solo e dos corpos d'água dos municípios pertencentes à AMREC – Associação dos Municípios da Região Carbonífera. Como resultado, aponta-se a viabilidade de utilização de rejeito de carvão nas proporções de 25% e 50% em substituição ao agregado miúdo natural (areia), criando assim, uma nova perspectiva às mineradoras de carvão da AMREC, que poderão dar um fim nobre ao rejeito de carvão, proporcionando uma produção mais limpa e sustentável, além de poderem contar com uma nova fonte de receita proporcionada pela comercialização do rejeito de carvão produzido na sua principal atividade comercial.

Palavras-chave: Carvão mineral. Blocos de concreto. Responsabilidade social. Drenagem ácida de mina (DAM).

ABSTRACT

This document presents the results obtained in the study of using raw waste of coal extraction. In this work the concrete block for public roads paving were produced in a factory owned by Criciúma city hall, which is situated at the municipal Penitentiary Santa Augusta. During the concrete samples blocks production with the coal waste, it was tried its best in the way of not changing the process developed at the concrete blocks production site used in the paving of Criciúma's streets. Thus, the only change that was proportionally imposed in the sample was the replacement of fine natural aggregate, washed sand, for the coal tailings aggregate in the proportions of 25%, 50%, 75% and 100%. The batch study also included the production of concrete blocks without adding coal tailing, which was to form the basis of comparative function for the compression tests, abrasion and water absorption. Afterwards, it was done a study to assess the possibility of generating, by concrete blocks, acid mine drainage (AMD), which is the main source of soil and water pollution in the municipalities belonging from AMREC - Association of Municipalities of the Coal Region. As a result, it points feasibility of using waste coal in the proportions of 25% and 50% to replace the natural aggregate (sand), thus creating a new perspective to AMREC coal mining companies, which may give a noble and to reject coal, providing a cleaner and sustainable production, besides being able to count on a new source of revenue provided by the commercialization of coal waste produced in its main commercial activity.

Keywords: Coal. Concrete blocks. Social responsibility. Acid mine drainage (AMD).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Formação do carvão	19
Figura 2: Curvas de lavabilidade	21
Figura 3: Tipos de Carvão, reserva e emprego	22
Figura 4: Evolução da produção do carvão bruto - ROM no Brasil	23
Figura 5: Produtos obtidos após o beneficiamento do carvão	24
Figura 6: Região Carbonífera de Santa Catarina	25
Figura 7: Mina Pio Correa (1940)	28
Figura 8: Vila Operária da Carbonífera São Marcos (1944)	28
Figura 9: Boca de Mina Abandonada	31
Figura 10: Produção acumulada de rejeitos de carvão	32
Figura 11: Drenagem Ácida de Mina	33
Figura 12: Comparação das constantes de velocidade em função do pH	35
Figura 13: Processo de Recuperação Judicial	37
Figura 14: Pantheon	40
Figura 15: Britador de Mandíbulas	42
Figura 16: Esquema de execução dos trabalhos	43
Figura 17: Rejeito de carvão após a britagem	44
Figura 18: Conjunto de peneiras	45
Figura 19: Formas obtidas pela medida da esfericidade	47
Figura 20: Formas obtidas com base em observações morfológicas	47
Figura 21: Fábrica de blocos de concreto da cidade de Criciúma	48
Figura 22: Blocos com 100% (A) e 0% (B) de substituição do agregado miúdo pelo rejeito de carvão	50
Figura 23: Balança de precisão	51
Figura 24: Estufa	52
Figura 25: pHmetro	57
Figura 26: Espectrôfotometro de Absorção Atômica AA 6800	58
Figura 27: Lixiviador	59
Figura 28: Curva granulométrica do agregado miúdo	61
Figura 29: Curva granulométrica do agregado graúdo	62
Figura 30: Ensaio de Absorção de água	65
Figura 31: Ensaio de Resistência à Abrasão	66

Figura 32: Resistência à Compressão	68
Figura 33: Antes e depois da lixiviação	71
Figura 34: Comportamento do pH, no tempo de cura, antes da lixiviação	72
Figura 35: Comportamento do pH, no tempo de cura, depois da lixiviação	72
Figura 36: Alumínio	75
Figura 37: Ferro.....	76
Figura 38: Manganês	76
Figura 39: Zinco	77
Figura 40: Metais para o corpo de prova com 50% de adição de rejeito de carvão ..	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do carvão.....	20
Tabela 2: Características típicas de DAM	36
Tabela 3: Tipo de cimento	38
Tabela 4: Percentuais de retenção dos agregados nas peneiras.....	45
Tabela 5: Retenção de brita nas peneiras.....	46
Tabela 6: Quantidade de material para carregamento da betoneira	49
Tabela 7: Média das medições em relação a absorção de água dos corpos de prova “A” e “B”.....	53
Tabela 8: Média da absorção de água para os corpos de prova “A” e “B”	54
Tabela 9: Ensaio de Resistência à Abrasão.....	55
Tabela 10: Ensaio de Resistência à Compressão.....	56
Tabela 11: pH e concentração de metais presentes nos agregados.....	59
Tabela 12: pH e Metais	60
Tabela 13: Média das medições realizadas em relação à absorção de água nos corpos de prova “A” nos corpos de prova “B”	64
Tabela 14: Ensaio de Absorção d'água.....	64
Tabela 15: Ensaio de Resistência à Abrasão.....	66
Tabela 16: Ensaio de Resistência à Compressão.....	67
Tabela 17: Análise de pH do agregado miúdo	69
Tabela 18: Metais detectados no agregado miúdo e no rejeito do carvão	70
Tabela 19: pH dos blocos em relação ao tempo de cura	71
Tabela 20: Metais presentes nos blocos de concreto	74

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

AMREC – Associação dos Municípios da Região Carbonífera.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos minerais.

DAM – Drenagem Ácida de Minas.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral.

FATMA – Fundação de Amparo à Tecnologia e o Meio Ambiente.

JIG – Equipamento para beneficiamento do carvão.

mol – Unidade do Sistema Internacional de Medidas para quantidade de substância.

MPF – Ministério Público Federal.

NGM. – *Near Gravity Material*.

P+L – Produção mais limpa.

pH – Potencial de Hidrogênio, utilizado para indicar a acidez ou basicidade de uma solução aquosa.

ROM – *Run-of-Mine*.

VSI – Britador do tipo girosférico de impacto vertical.

NBR – Norma Brasileira regulamentadora, aprovada pela ABNT.

LDCM - Laboratório de desenvolvimento e caracterização de materiais.

CTC_{mat} – Centro de Tecnologia em Materiais.

Laqua – Laboratório de Análises Químicas e Ambientais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Geral.....	16
1.1.2 Específicos	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 O CARVÃO MINERAL	18
2.2 CARVÃO MINERAL NO BRASIL	22
2.3 CARVÃO MINERAL EM SANTA CATARINA	24
2.4 CARVÃO MINERAL EM CRICIÚMA – SANTA CATARINA	26
2.4.1 O início da exploração do carvão mineral em Criciúma - Santa Catarina	27
2.4.2 A exploração do carvão mineral e o meio ambiente	29
2.4.3 Rejeitos de carvão.....	31
2.4.4 Drenagem ácida de mina – DAM	33
2.4.5 A ação civil pública do carvão	37
2.5 HISTÓRIA DO CIMENTO	37
2.5.1 O concreto	38
2.5.2 Bloco de concreto para pavimentação de vias públicas	40
3 MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	50
3.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	56
3.6 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE DAM	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1 GRANULOMETRIA	61
4.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	63
4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO	66
4.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	67
4.6 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DA DAM	69
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERÊNCIAS	82
APÊNDICE A: SATURAÇÃO DA MASSA	89
APÊNDICE B: SECAGEM DA MASSA.....	90
ANEXO A - RESISTÊNCIA À ABRASÃO AOS 28 DIAS DE CURA	91
ANEXO B - RESISTÊNCIA À ABRASÃO AOS 90 DIAS DE CURA	92
ANEXO C - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS DE CURA	93
ANEXO D - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 90 DIAS DE CURA	94

1 INTRODUÇÃO

Segundo Santos (2012), o crescente avanço tecnológico em produtos e serviços, vistos nestes tempos, trazem progresso e comodidade. Em contrapartida, estes mesmos processos que facilitam a vida dos habitantes, quando mal gerenciados, são responsáveis pela contaminação do meio ambiente (ar, solo e água).

O carvão mineral tem como sua principal aplicação na geração de energia elétrica em âmbito mundial, não sendo diferente para a região sul do estado de Santa Catarina. Entretanto, a falta de um sistema de gestão ambiental adequado para sua produção pode resultar em severos impactos ambientais.

O *World Coal Institute* na sua publicação, *Coal Mining- The Resource: A Comprehensive Overview of Coal Institute* (2009), diz que o carvão mineral representa quase 40% do abastecimento de energia elétrica do mundo. Sendo que em alguns países este número é ainda maior: 94% para a Polônia, 92% para a África do Sul, 77% para a China e 76% para a Austrália. Enquanto apenas 1,3% da energia elétrica produzida no Brasil é proveniente da queima do carvão mineral (AMARAL FILHO, 2009).

O Plano Nacional de Energia 2030, (BRASIL, 2007) e o Atlas da Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2008) afirmam que a demanda por carvão mineral para geração de energia elétrica, vem caindo nos últimos anos, entretanto a segurança energética proporcionada pelo carvão mineral aliada à criação de novas técnicas de “queima limpa” para carvões mais pobres, o crescente aumento do custo de combustíveis fósseis como gás natural e petróleo e a perspectiva de queda nos níveis d’água dos reservatórios das hidroelétricas, somados às dificuldades no aproveitamento para geração elétrica dos recursos hídricos ainda disponíveis no país, aumentaram as atenções para uma possível expansão do parque termelétrico no país, principalmente dentro da perspectiva de longo prazo (AMARAL FILHO, 2009).

Estas perspectivas abrem espaço para discussão e busca de novas técnicas de gerenciamento da produção e queima do carvão mineral da região sul de Santa catariana, bem como do aproveitamento dos depósitos dos rejeitos sólidos, com o intuito de zerar o passivo ambiental deixado pelos anos de exploração sem controle do descarte dos rejeitos.

Atualmente na região da Associação dos Municípios da Região Carbonífera - AMREC, aproximadamente 65% do carvão ROM (*Run-of-Mine*), ou seja, produção

bruta, retirada da mina, são descartados como rejeitos após o processo de separação gravimétrica utilizados pelas mineradoras da região. Estes rejeitos são compostos por rochas sedimentares e pirita (FeS_2), que quando em contato com oxigênio e água, pode oxidar-se dando origem a um efluente líquido, denominado Drenagem Ácida de Minas (DAM). Esse efluente é composto por ferro (nas formas Fe^{2+} e Fe^{3+}), sulfatos e outros metais presentes na matéria mineral e se constitui no principal problema ambiental em regiões carboníferas.

Este efluente, quando não tratado adequadamente, poderá gerar impactos ambientais aos corpos hídricos (de superfície e subterrâneos) e à Biota (SANTOS, 2012).

Segundo Pinheiro (2012), os anos de exploração do carvão mineral na AMREC, somados ao descarte sem critérios dos rejeitos imprimiram um aspecto desolador à paisagem da região, onde amontoados de rejeitos, a contaminação dos recursos hídricos, o comprometimento da flora e da fauna, motivaram um novo cenário no processo de recuperação e o desenvolvimento regional. Sendo assim, emergem questionamentos que instigam a busca, através da pesquisa, de novas perspectivas para o carvão na região sul do estado de Santa Catarina, sendo principalmente nos aspectos socioambientais.

Diversos estudos, baseados nos preceitos da produção mais limpa (P+L), têm sido conduzidos na busca da sustentabilidade de empresas produtoras de carvão devido à importância em âmbito mundial desse recurso e do seu alto potencial poluidor. Nos últimos doze anos, na indústria de produção de carvão mineral, estratégias como o estabelecimento de indicadores, estudos para melhoria da qualidade de vida dos habitantes residentes no entorno das minas, criação de metodologia para identificação de pontos de melhoria do sistema produtivo, recuperação de áreas degradadas, utilização de resíduos e otimização do desempenho das etapas do processo produtivo tem sido objetos de pesquisa (SMINKA, et al., 2000), (LIN, et al., 1996), (CHINKKATURA, et al., 2009), (SI, et al., 2009), (BIAN, et al., 2010), (GIURCO, et al., 2012).

De acordo com Costa (1998), o aproveitamento de rejeitos industriais já se justificaria quando feito somente sob a óptica da prática preservacionista restauradora do meio ambiente, porém, quando aliados a uma redução da necessidade de recursos naturais tem seu emprego potencializado.

A construção civil apresenta-se como uma opção bastante promissora para o emprego do rejeito de carvão. Das inúmeras possibilidades, a aplicação que mais se destaca é a substituição do agregado miúdo na produção de concreto.

No caso de resíduos perigosos ou com capacidade de lixiviar ou solubilizar contaminantes, Poon, Clarck e Perry (1986) afirmam que a combinação com o cimento pode imobilizar os contaminantes através de reações químicas e mecanismos físicos, conhecida comumente como processo de solidificação/estabilização.

Este trabalho considera ainda que como busca-se a produção e blocos de concreto para pavimentação de vias públicas, este deve apresentar as características técnicas exigidas pelas normas, além, de serem comprovadamente inócuos ao meio ambiente.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

O presente estudo tem por principal objetivo o estudo da viabilidade técnica da utilização do rejeito de carvão in natura obtido do processo de separação do carvão nos Jigues das empresas mineradoras da região sul de Santa Catarina, em substituição ao agregado fino natural (areia) na produção de blocos de concreto para pavimentação de vias públicas.

1.1.2 Específicos

a) Beneficiamento do rejeito bruto a fim de adequá-lo à faixa granulométrica que permita sua utilização como agregado miúdo para produção de concreto;

b) Definição dos percentuais ideais de substituição do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo de rejeito de carvão que confirmem aos blocos de concreto características a mais próxima possível da obtida com agregado miúdo natural;

c) Avaliação das propriedades (resistência à compressão, resistência à abrasão e absorção de água) dos blocos de concreto produzidos com diferentes percentuais de substituição e nas diferentes maturidades dos blocos;

d) Estudo da geração da Drenagem Ácida de Minas (DAM) proveniente dos blocos de concreto produzidos através de ensaios estáticos.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo este o colocado a título de INTRODUÇÃO.

No segundo capítulo é apresentado um REFERENCIAL TEÓRICO do assunto.

O terceiro capítulo, MATERIAIS E MÉTODOS, versa sobre os materiais utilizados e a metodologia empregada no trabalho.

O capítulo quarto apresenta os RESULTADOS E DISCUSSÃO dos ensaios realizados e finalmente o capítulo quinto traz as CONSIDERAÇÕES FINAIS do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico mostra, de uma forma bastante generalizada, a descoberta, a produção e a utilização do carvão mineral, no mundo e em especial no sul de Santa Catarina, evidenciando os impactos ambientais na região da AMREC, onde se destaca a geração de DAM, que compromete os recursos hídricos, o solo e o ar da região carbonífera do estado de Santa Catarina. Não sendo esquecido o impacto visual gerado pela deposição dos rejeitos a céu aberto e sem nenhum critério aplicados no início da extração do carvão mineral.

Mostra também o surgimento do cimento e o seu emprego na produção de concreto, suas qualidades e potenciais empregos na construção civil. É abordado ainda, o emprego de resíduos sólidos da construção civil e da indústria na produção de artefatos de concreto.

Por fim é apresentado um panorama do emprego de rejeito de carvão em substituição do agregado miúdo natural (areia lavada) na produção de blocos de concreto a serem utilizados na pavimentação de vias públicas.

2.1 O CARVÃO MINERAL

A história do carvão mineral está intrinsecamente ligada à evolução do homem, que na pré-história considerava que o fogo era obra dos deuses. Estes primitivos notaram que as florestas incendiadas transformavam-se em pedras negras que voltavam a queimar quando em contato com o fogo. Este fato trouxe um certo conforto ao homem pré-histórico. No período Neolítico, pedras negras colocadas para proteger o fogo eram transformadas em metal quando em contato com a lenha carbonizada.

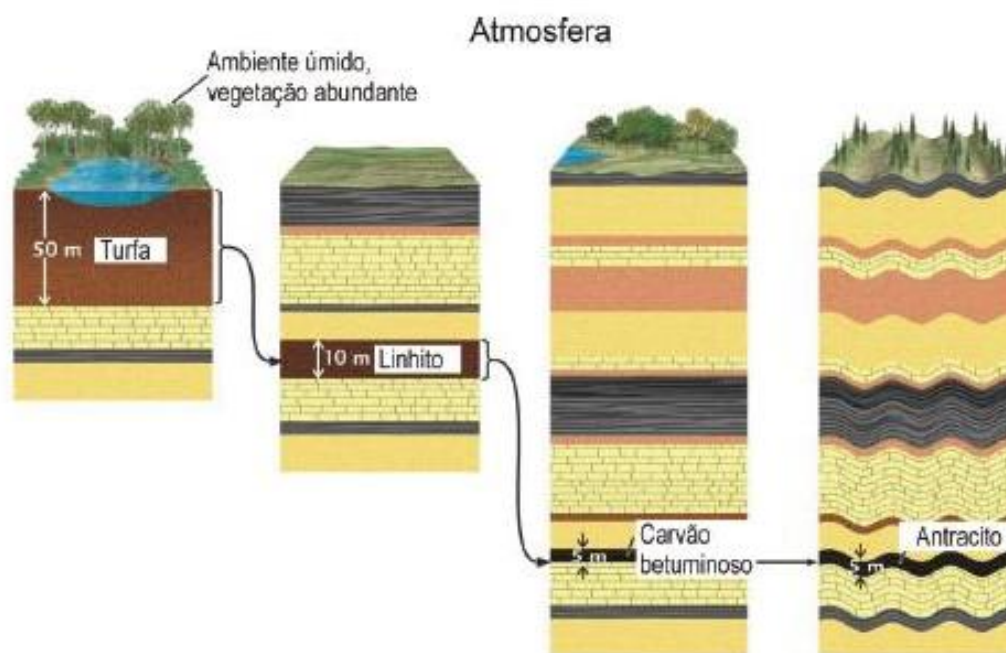
Seguiram-se as idades do cobre, bronze e do ferro, sempre associadas ao calor produzido pela queima do carvão mineral (BELOLLI *et. al.*, 2002).

O carvão mineral é o produto de uma complexa e variada mistura de componentes orgânicos sólidos, submetidos ao longo de milhões de anos a condições de temperatura e pressão tal que possibilitaram sua fossilização, do mesmo modo que ocorre a todos os combustíveis fósseis (ARAÚJO, 2007).

Para Toniolo (2010) a decomposição de matéria orgânica nos pântanos, associada ao tempo e a temperatura, deram origem as etapas de formação do carvão. Pode-se observar, na Figura 1, que quanto mais profunda for a camada de carvão,

maior será a incidência de carbono e conseqüentemente menor a presença de celulose. Isso se deve ao fato de que segundo a regra do gradiente geotérmico, a temperatura aumenta, em média, 30°C a cada 1 km de profundidade que se avança na crosta terrestre.

Figura 1: Formação do carvão



Fonte: Toniolo, Carneiro (2010)

Segundo Amaral Filho (2009), o carvão é classificado segundo o percentual de carbono na sua composição, assim, quanto mais carbono estiver presente na sua formação, maior sua capacidade de queima e conseqüentemente maior será sua aplicabilidade na produção de vapor, que tem nos dias de hoje uma grande utilização na produção de energia elétrica. Outro índice qualitativo do carvão, segundo o Balanço Mineral Brasileiro, DNPM (2001) é o *grade*, que mede o percentual de cinzas presentes no carvão, assim, quanto mais cinzas estiverem presentes, menor será o *grade* e conseqüentemente mais pobre em termos energético será o carvão.

A Tabela 1, mostra em uma escala de menor para maior, a concentração de carbono encontrada nos carvões.

Tabela 1: Classificação do carvão

Tipo de Carvão	% de Concentração de Carbono
Turfa	45
Linhito	60 a 75
Betuminoso (hulha)	75 a 80
Antracito	90

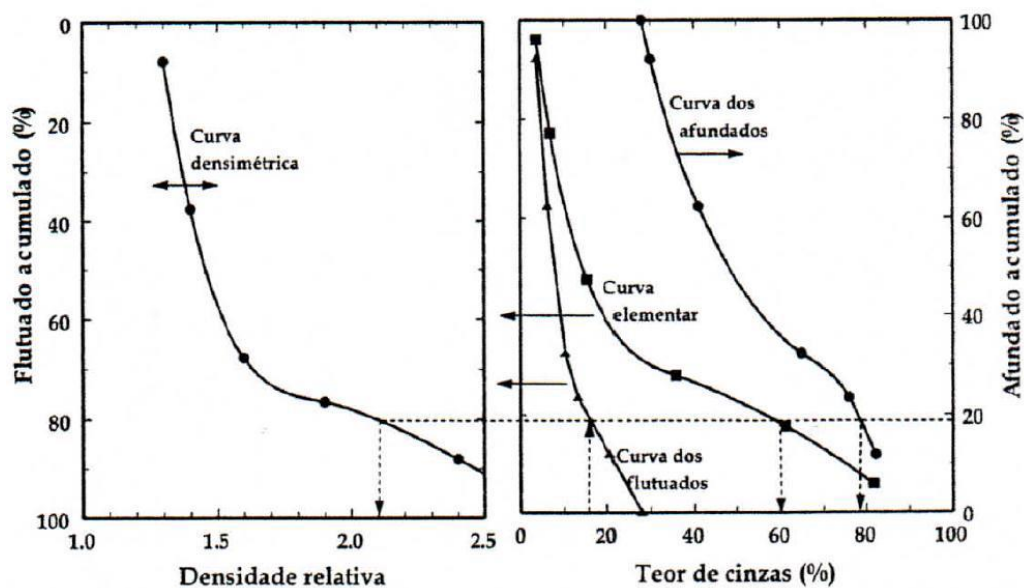
Fonte: Amaral filho (2009)

Conforme Tavares (2005), o carvão mineral é formado por minerais inertes (ganga) e por “minerais orgânicos” denominados macerais, sendo estes subdivididos em: vitrinita, exinita e inertinita, com densidades que variam conforme o teor de carbono.

Uma vez que a matéria inorgânica presente no carvão é mais densa que os macerais, quanto maior a concentração da matéria carbonosa no material, menor será sua densidade, conseqüentemente, o teor de cinzas que está diretamente ligado à quantidade de minerais inertes presentes no carvão, determina que, quanto mais denso for o carvão, menor sua qualidade para a queima.

De acordo com Rubio (1988), Cebeci (2002) e Tavares (2005) os testes de afunda-flutua são amplamente utilizados para o beneficiamento de carvão, pois permitem estimar a sua acessibilidade através da concentração gravimétrica. Com os dados obtidos, são construídas as curvas de lavabilidade, Figura 2, também denominadas de curvas de Henry-Reinhardt, curva elementar e curva de tolerância densimétrica ou *Near Gravity Material* ou simplesmente NGM. Tais curvas são utilizadas para avaliar o grau de dificuldade da separação gravimétrica do carvão bruto e promover dados qualitativos ou quantitativos para os produtos de separação na densidade relativa selecionada. O gígues para separação dos rejeitos se valem da característica desimétrica em que o carvão sendo menos denso que o rejeito, é facilmente separado por flutuarem no meio líquido, conforme representado na Figura 2.

Figura 2: Curvas de lavabilidade

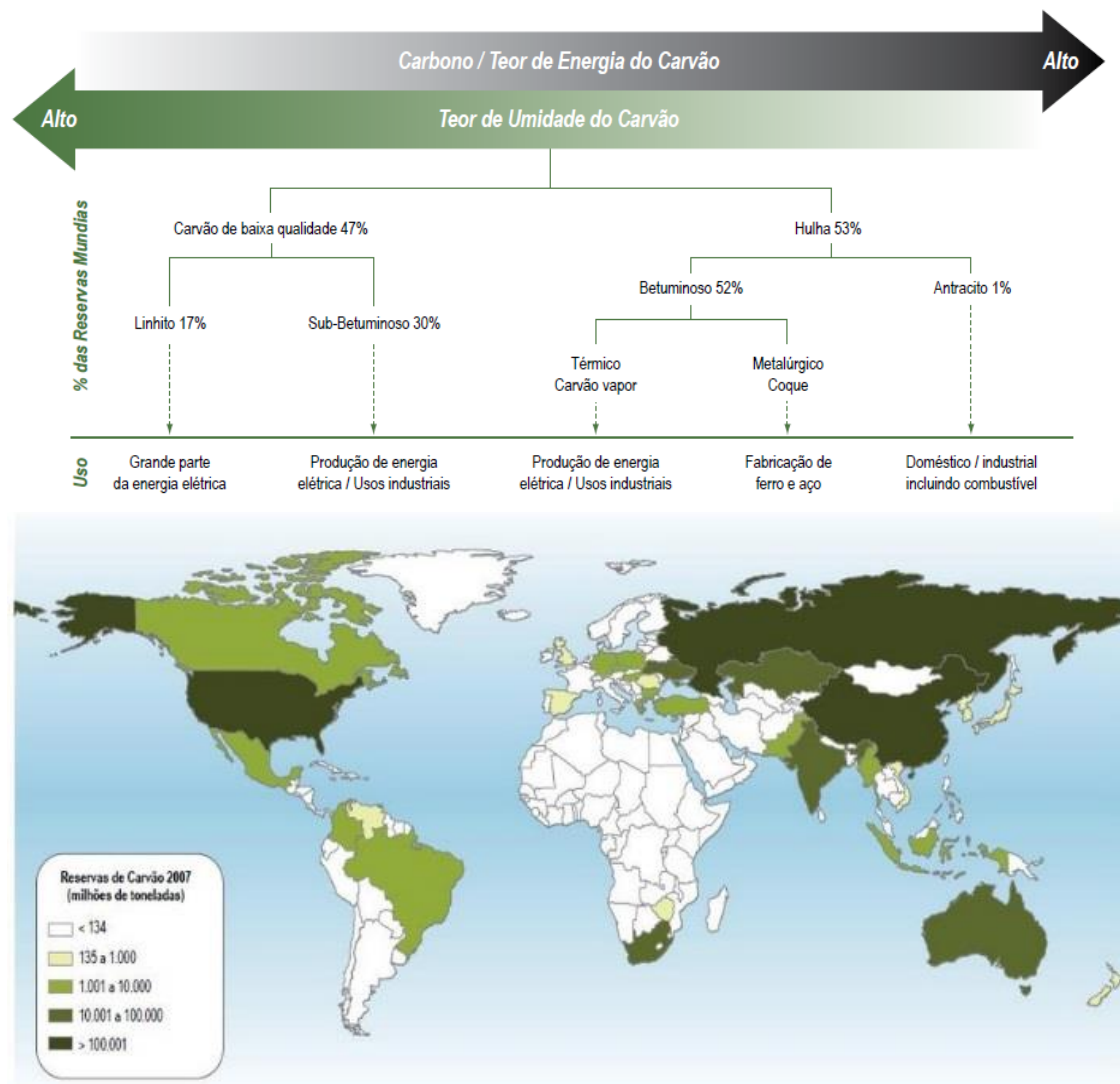


Fonte: Tavares e Sampaio 2005

O carvão tem desde os primórdios, seu emprego mais expressivo na produção de vapor, que na Inglaterra do século XVII foi um dos pilares da sustentação da primeira revolução industrial. A partir dos anos finais do século XIX o vapor teve seu emprego na produção de energia elétrica.

A Figura 3 evidencia que a razão da utilização do carvão se deve ao fato de ser um combustível fóssil bastante abundante e distribuído de maneira democrática no planeta (ANEEL, 2008).

Figura 3: Tipos de Carvão, reserva e emprego



Fonte: ANEEL (2008)

2.2 CARVÃO MINERAL NO BRASIL

O interesse da coroa portuguesa na colônia (Brasil) restringia-se a metais preciosos e gemas, coibindo toda e qualquer busca por insumos que possibilitassem o surgimento da indústria brasileira. Somente no final do segundo império é que tem início, ainda que de forma bastante acanhada, a organização de instituições responsáveis pelo estudo dos recursos naturais do Brasil. Este fato possibilitou a confirmação da existência e o melhor conhecimento do carvão brasileiro, que é encontrado em uma estreita faixa litorânea que vai de São Paulo até o Rio grande do Sul (BELOLLI et. al., 2002).

O carvão brasileiro também conhecido como carvão gonduânico, devido ao fato de ter sido formado ainda antes da separação do supercontinente (CHAVES, 1972) possui características semelhantes ao dos carvões indianos e africanos. Sua qualidade é considerada baixa e os teores de cinza e enxofre variam em função da posição geográfica em que se encontra. A capacidade de se obter coque (carvão metalúrgico) é insignificante nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná, visto que a jazida de carvão metalúrgico é muito pequena, porém é considerada muito promissora em Santa Catarina (SOARES et. al., 2008).

Segundo Redivo (2002) a produção de carvão está concentrada nos estados do sul do Brasil, onde tem papel de destaque o estado de Santa Catarina. A Figura 4 mostra a evolução da produção de carvão ROM no Brasil.

Figura 4: Evolução da produção do carvão bruto - ROM no Brasil

UF	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
PR	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4
RS	3,9	3,9	4,2	3,7	4,5	4,5	3,8	3,8	3,6	3,9	4,3	4,3	4,5
SC	6,0	3,8	4,2	4,8	7,8	9,7	9,8	7,3	6,2	7,6	8,3	8,6	8,7
Total	10,1	8,0	8,6	8,6	12,3	14,3	13,9	11,4	10,1	11,7	12,8	13,2	13,6

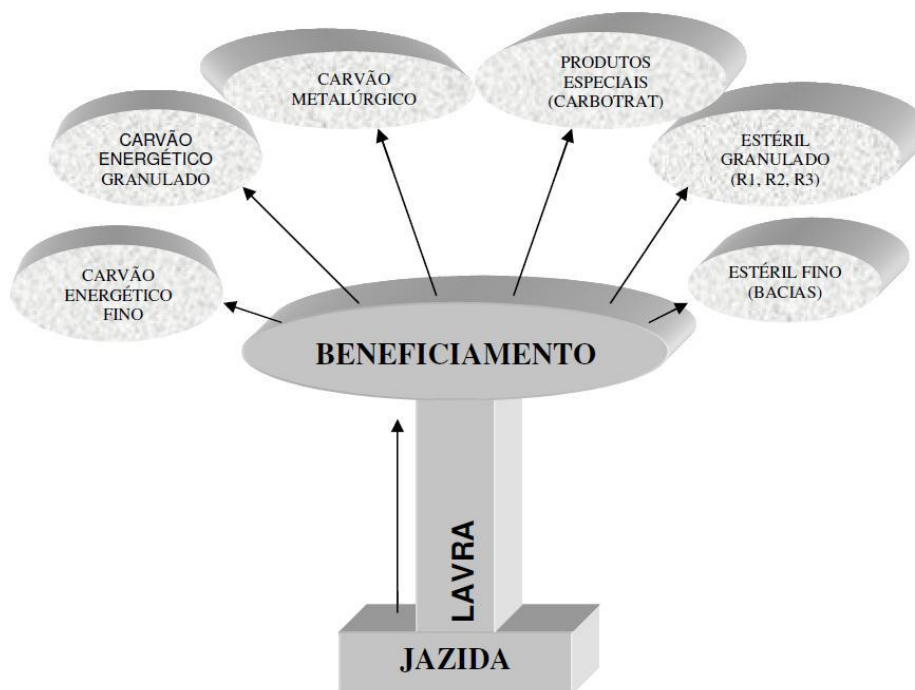
Fonte: DNPM (2008)

Segundo Schneider (1987), o carvão brasileiro, para que possa ser empregado industrialmente, deverá sofrer um processo de beneficiamento, com o intuito de reduzir seus teores de cinzas e enxofre.

De acordo com Sampaio (1983), beneficiamento (ou lavagem) de carvões, no seu sentido mais amplo, refere-se ao conjunto de operações necessárias para separar as impurezas (material inorgânico não combustível) da matéria carbonosa propriamente dita (material orgânico), em condições aceitáveis sob o ponto de vista técnico e econômico. Este beneficiamento pode variar segundo as características que se deseja empregar ao carvão ou segundo sua utilização.

A Figura 5 mostra alguns dos produtos obtidos após o beneficiamento (lavagem) do carvão ROM.

Figura 5: Produtos obtidos após o beneficiamento do carvão



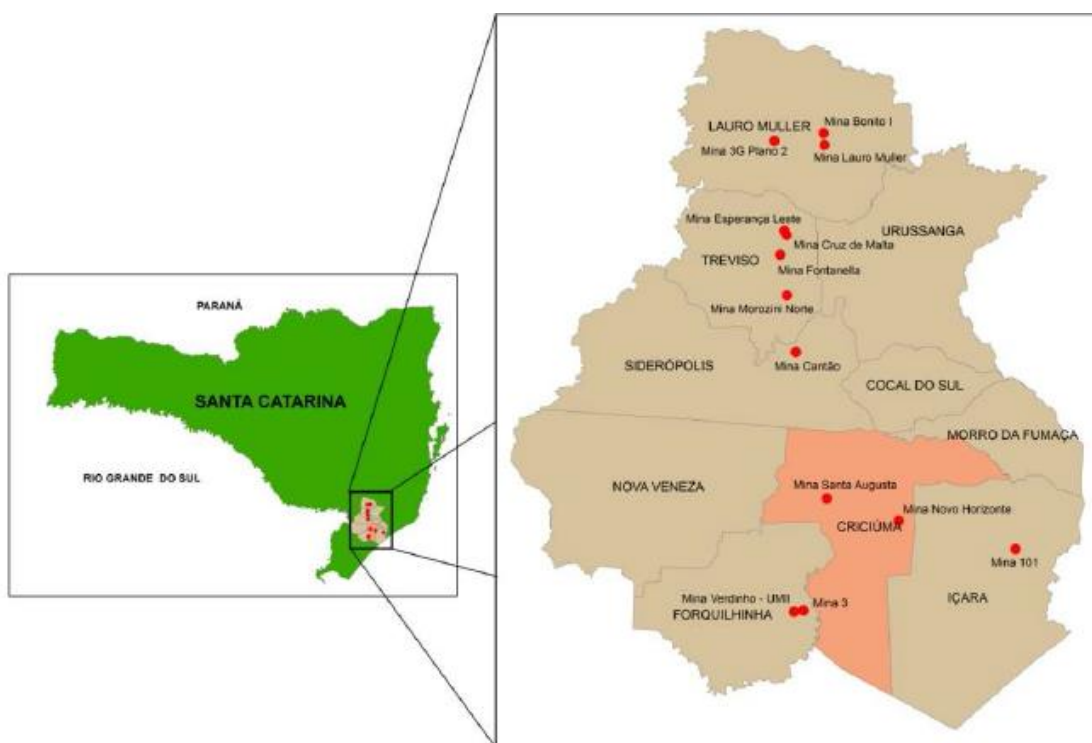
Fonte: Schneider (2006) apud Santos (2012)

2.3 CARVÃO MINERAL EM SANTA CATARINA

A região carbonífera do estado de Santa Catarina teve sua ocupação iniciada em 1878 com a fundação da cidade de Urussanga 1878, seguida por Criciúma em 1880 e de Lauro Müller em 1885, sendo este último o município do marco inicial da exploração de carvão no solo catarinense.

O início da mineração de carvão em Santa Catarina tem como característica marcante o fato de serem manuais as operações tanto de lavra como de beneficiamento, isso fazia com que a produção fosse bastante acanhada (AMBONI, 2010). O transporte era feito de carro de boi até o rio tubarão e dali a Laguna seguia de canoa, perdurando essa condição até 1884 quando entrou em funcionamento um trecho da Estrada de Ferro Dona Tereza Cristina (Figura 6).

Figura 6: Região Carbonífera de Santa Catarina



Fonte: Amboni et. al. 2010

O carvão catarinense é parte fundamental e indissolúvel da história da região sul do estado de Santa Catarina, chegando em alguns casos, a se confundir com a própria história do município produtor, sendo fonte do progresso e do crescimento destes, bem como da fixação do homem, exemplos disso são os municípios de Criciúma, Forquilha, Cocal do Sul, Sideropolis, Treviso e Lauro Muller.

Segundo Vetoretti (1992), o padre João Leonir Dall'Alba comentava que o carvão catarinense foi descoberto por volta de 1830 na localidade de Passa Dois, próximo ao município de Lauro Müller, quando tropeiros que desciam a Serra do Rio do Rastro para comercializar seus produtos, acostaram algumas pedras ao fogo para servirem de apoio as panelas. A surpresa veio quando notaram que aquelas pedras queimavam junto com a madeira, mas o mais assustador foi o fato de exalarem um cheiro forte de enxofre que naquela época era associado ao demônio.

A exploração do carvão catarinense teve início somente no ano de 1874 quando da assinatura do contrato de concessão da exploração e do transporte do

carvão ao porto de Laguna, segundo pesquisas de Visconde de Barbacena, Felisberto de Caldeiras Brand e Pont.

Surgiram então duas empresas, a *The Tubarão Coal Mining Company* e a *The Donna Thereza Cristina Railway Company Limited*, sendo que a segunda ganhou ainda o direito de transportar o carvão produzido nas minas até os portos de Laguna e Imbituba por um período de 80 anos (ZUMBLICK, 1987).

Devido aos inúmeros problemas e a falta de recursos financeiros, no fim de 1887 foram paralisados os trabalhos de exploração e transporte do carvão catarinense. O governo brasileiro então passou o direito de exploração às empresas do Rio de Janeiro, onde destacam-se os empresários: Henrique Lage, Álvaro Catão e Sebastião Neto.

Em 1904 o governo federal criou a comissão do carvão que deveria avaliar o potencial das ocorrências de carvão no sul do país. Ainda neste ano Dr. Lauro Müller, o então ministro da indústria, nomeou o geólogo americano Dr. Israel Charles White como chefe da comissão do carvão. A equipe chefiada por White desenvolveu seus trabalhos no período compreendido entre 1904 e 1906, que resultou no “Relatório – Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brazil – 1908”.

A formação das jazidas carboníferas de Santa Catarina foi estabelecida, por White no início do século XX, quando mostrou a correlação com o sistema Karoo da África do Sul (BELOLLI et. al., 2002).

Esta estreita identidade, não somente dos fósseis dos sistemas de Santa Catarina e Karoo, mas também a semelhança geral da feição estratigráfica e litológica que se encontra nos dois sistemas, bem como no do Gondwana da Índia, quando ao que se refere aos membros, inferior e superior, certamente vêm em apoio da grande probabilidade da hipótese que admite que os Continentes Meridionais devem ter estado unidos durante os períodos permiano e triássico por porção de terra, agora submersa, a que Suess denominou terra Gondwana. (FIUZA, et al., 1940 p. 51)

2.4 CARVÃO MINERAL EM CRICIÚMA – SANTA CATARINA

Segundo Napolini Filho a descoberta do carvão em Criciúma se deu de forma casual quando,

Corria a notícia de que os envolvidos na guerra dos Maragatos e Pica-Paus, ali no Rio Grande do Sul, adentrariam o solo catarinense e, ao passar por vilas, como a Cresciúma, confiscaram burros e cavalos para atenderem aos seus soldados. Essa notícia foi ouvida pelo senhor Giacomo Sonego que, com duas boas mulas, fazia serviço de frete (com carroça), transportando produtos hortigranjeiros e tecido [...] perder as mulas: Perguntou-se o Sr. Giacomo Sonego, nem pensar. Abriu uma picada mato a dentro e, a uns duzentos metros, se tanto, de sua casa, preparou o novo habitat para os animais de carga... passada a encrenca toda, o Sr. Giacomo derrubou o mato, inclusive aquela porção na qual escondia suas mulas e, depois de recolhidas as toras e varas mais grossas, ateou fogo na coivara. E daí senhores, descobria-se o carvão mineral. No dia seguinte à queimada, seu Giacomo foi ver o local e, para sua surpresa havia umas pedras queimando em brasa (NASPOLINI FILHO, 2007, p. 71).

O carvão descoberto pelo Sr. Giacomo Sonego, em suas terras, no ano de 1904, inicialmente foi usado em ferrarias da localidade para aquecer fornos. O transporte deste carvão era realizado por carros de boi, o que encarecia e dificultava a ascensão do setor.

2.4.1 O início da exploração do carvão mineral em Criciúma - Santa Catarina

A exploração do carvão em Criciúma remonta o ano de 1915, quando é aberta a primeira mina de carvão, sendo esta, localizada no bairro Pio Correa. Uma amostra deste carvão foi enviada para análise e obteve uma qualificação ótima. Este fato gerou otimismo aos empresários do setor carbonífero e incentivou assim sua extração. Com o início das atividades, em 1919, da Estrada de Ferro Dona Tereza Cristina, ligando Criciúma ao porto de Laguna, o carvão cricumense passa a ter um custo menor e uma maior logística de transporte, o que incentivou a abertura de novas minas. A Figura 7 enfatiza as condições com que o carvão era extraído nos anos 1940.

Figura 7: Mina Pio Correa (1940)



Fonte: Belolli; Quadros; Guidi (2002)

Com o aumento do consumo do carvão de pedra, a indústria carbonífera solidificou-se e tornou-se a principal economia regional, fazendo com que famílias inteiras se deslocassem dos municípios vizinhos para Criciúma, o então “Eldorado” do ouro negro. O crescimento da cidade se deu de forma rápida e desordenada, sendo comum as vilas de operários da indústria de extração do carvão serem formadas junto as minas, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8: Vila Operária da Carbonífera São Marcos (1944)



Fonte: Belolli, Quadros, Guidi (2002)

Segundo Philomena, Follmann, Gonçalves (2012), a história do Carvão Mineral passou por quatro fases bem distintas no modelo histórico da produção de carvão mineral da região.

Criciúma (SC) está inserida no primeiro período, o qual teve aceleração devido à imigração de colonizadores de origem europeia. De acordo com a delimitação de Goularti Filho (2004), a primeira fase ocorreu do descobrimento do carvão até a chegada da estrada de ferro em 1919; a segunda fase, se estendeu até a Segunda Guerra Mundial, período em que foram criadas usinas de beneficiamento, termoelétricas e produção de gás e coque; a terceira fase está situada entre a segunda guerra e os anos setenta do século XX; e a quarta fase, tem como marco referencial o início da mecanização das minas.

2.4.2 A exploração do carvão mineral e o meio ambiente

A indústria da mineração, como as demais atividades econômicas, proporciona à comunidade onde estão inseridas um aumento na oferta de emprego e renda, de bens e serviços, bem como na arrecadação de impostos, porém, em contrapartida também podem levar a alterações indesejáveis na paisagem e nas condições ambientais do entorno (BORNA; SOARES, 2002).

Para McAllister e Milioli (2000), são seis os principais estágios da atividade de mineração:

- 1- Pesquisa,
- 2- Desenvolvimento,
- 3- Extração,
- 4- Concentração do minério,
- 5- Processamento/refinamento;
- 6- Desativação após o fechamento da mina.

Todas estas etapas são potenciais geradores de impactos ambientais, tais como: distúrbios no solo, contaminação da água e poluição do ar.

A recuperação do carvão brasileiro, está situada entre 30 a 60% do carvão *run-of-mine* (ROM), o que significa que a maior parte do material minerado é descartado

como rejeito. Esse material é composto por matéria carbonosa misturada com pirita, argilas, arenitos e folhelhos (VIGÂNICO, 2009).

Borna e Soares (2002) classificam os resíduos gerados em dois tipos: (a) estéreis, e (b) rejeitos. Os estéreis são os materiais de cobertura e/ou as camadas intermediárias ou que circundam o carvão. Este material é extraído fazendo-se uso de explosivos ou escavadeiras. Enquanto que os rejeitos são resíduos sólidos resultantes das operações de beneficiamento e metalurgia extrativa. Em ambos os casos, se dispostos inadequadamente, tornam-se graves problemas ambientais devido aos danos que podem causar aos recursos hídricos, ao solo e ao ar.

Durante quase um século de exploração de carvão mineral na região de Criciúma, muitos foram os danos ambientais provocados pela atividade. Durante o processo de beneficiamento do ROM, o carvão é separado do rejeito. No início da história da mineração, o rejeito era então descartado sem qualquer cuidado com o meio ambiente. Este rejeito, quando em contato com água e oxigênio, gera um efluente ácido denominado de Drenagem Ácida de Minas (DAM) que destacasse pela acidez da água associada à alta concentração de metais que contaminam os recursos hídricos, destroem a vegetação e provocam a perda de utilidade de extensas áreas de terra.

Segundo o portal da ação civil pública do carvão (1993), atualmente estima-se que existam aproximadamente 6.400 hectares de áreas de terras degradadas pela mineração de carvão, além de aproximadamente 800 bocas de mina abandonadas (Figura 9), que continuam contribuindo para a degradação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Tubarão e Urussanga.

Figura 9: Boca de Mina Abandonada



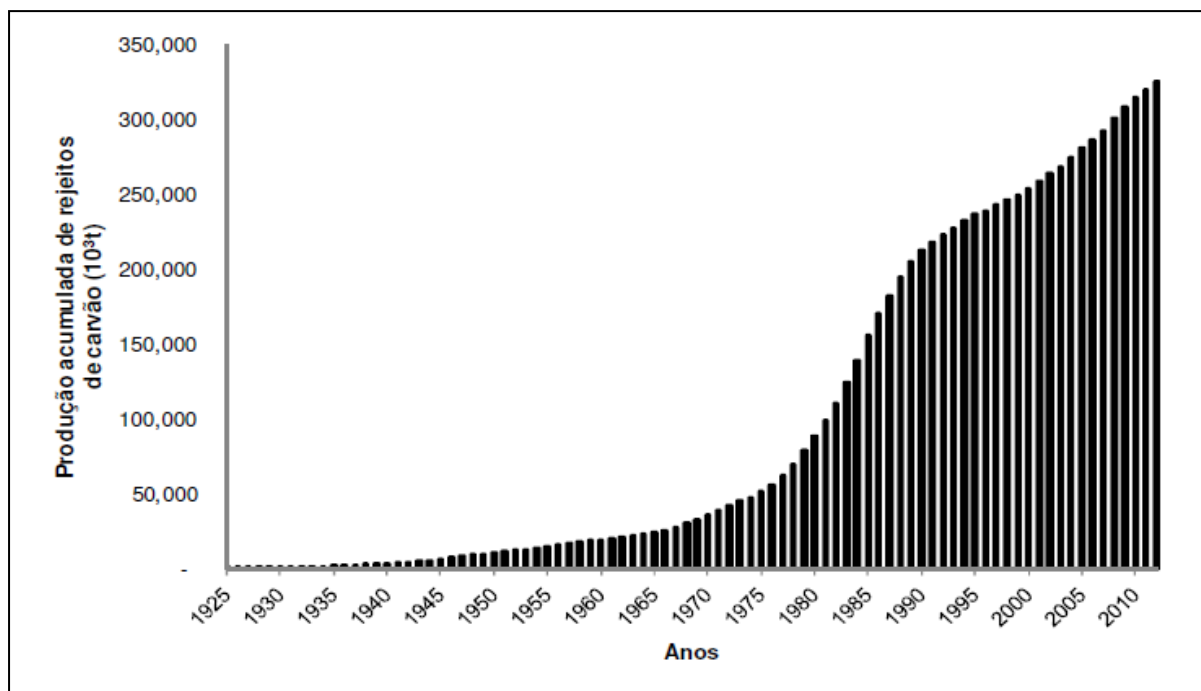
Fonte: Portal da Ação Civil Pública do Carvão (2015)

2.4.3 Rejeitos de carvão

Os rejeitos de carvão apresentam como características o baixo pH, elevada temperatura superficial, baixa capacidade de retenção de água, pequena disponibilidade de nitrogênio e presença de sais insolúveis de fósforo (GAIVIZZO *et al*, 2002).

A atividade de mineração gera resíduos que são classificados como estéreis e rejeitos. Para essa pesquisa serão analisados os rejeitos de carvão sólido que são resultado da operação de beneficiamento da extração. Uma das características da indústria carbonífera de Santa Catarina é a lavra subterrânea que gera um impacto de rejeitos sólidos mais impactante do que os estéreis. Segundo dados do SIESESC até o ano de 2010 foram gerados uma massa de aproximadamente 320 milhões de toneladas de rejeito, como pode ser observado na Figura 10 (AMARAL FILHO, 2009).

Figura 10: Produção acumulada de rejeitos de carvão



Fonte: SIESESC

Os rejeitos de carvão podem ser utilizados de diversas formas para vários fins comerciais. Uma das formas de utilização desse material é para o preenchimento das cavas de mina, especialmente para as minas de extração a céu aberto. Para esse fim, o carvão é diluído e lixiviado para eliminar os riscos de combustão espontânea. Outros usos segundo Cheriaf e outros (2002, p. 376) são:

- Como aterro ou material de engenharia civil, incorporado a outros componentes;
- Como aditivo na produção do concreto e de artefatos de concreto;
- Como combustível para as caldeiras de leito fluidizado para produzir energia ou calor e;
- Na agricultura.

Muitos estudos já foram realizados e outros estão em andamento para identificar novas formas de utilização para os rejeitos provenientes da mineração de carvão.

2.4.4 Drenagem ácida de mina – DAM

Segundo Fungaro e Izidoro (2006.), os estéreis e rejeitos presentes no material descartado na mineração de carvão, apresentam muito sulfeto de ferro(FeS_2) que oxidam-se em presença do ar, da água e da ação de bactérias *Thiobacillusferrooxidans*, formando ácido sulfúrico (H_2SO_4) desencadeando o processo de acidificação e a dissolução de metais, que pode ocorrer em minas abandonadas ou em operação, originando a DAM.

Já Evangelou (1995) afirma que para que seja possível a geração de DAM, devem ser atendidas três condições:

- 1 - O resíduo deve ser composto por uma quantidade superior de sulfetos à dos álcalis presentes no meio;
- 2 - A permeabilidade do resíduo deve ser tal que permita que o oxigênio e a água se infiltrem;
- 3- O resíduo deve estar depositado em um ambiente úmido ou exposto às águas de chuvas ou circundantes de modo que sejam capazes de percolá-lo e transportá-lo ao meio ambiente. A Figura 11 evidencia os efeitos da DAM no meio ambiente.

Figura 11: Drenagem Ácida de Mina

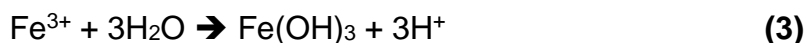
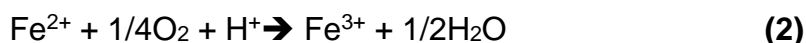
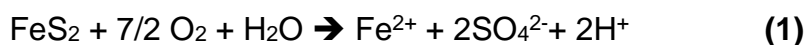


Fonte: Buzzi (2012)

O carvão extraído em minas a céu aberto e subterrâneas é enviado ao lavador para beneficiamento, separando o carvão do rejeito. Assim, geram cerca de 60% de resíduos sólidos e aproximadamente 1,5 m³ de efluentes ácidos para cada tonelada lavrada.

No ano de 2000 foram gerados cerca de 4 milhões de toneladas de rejeitos e estéreis do carvão beneficiado nas carboníferas brasileiras (NASCIMENTO, et al., 2002).

Evangelou (1995), Stumm (1996.), Ali (2011), Ritcey (1989) e Kantopoulos (1998) consideram que as reações envolvidas na formação da DAM ocorrem por processos químicos e biológicos, conforme as reações a seguir:



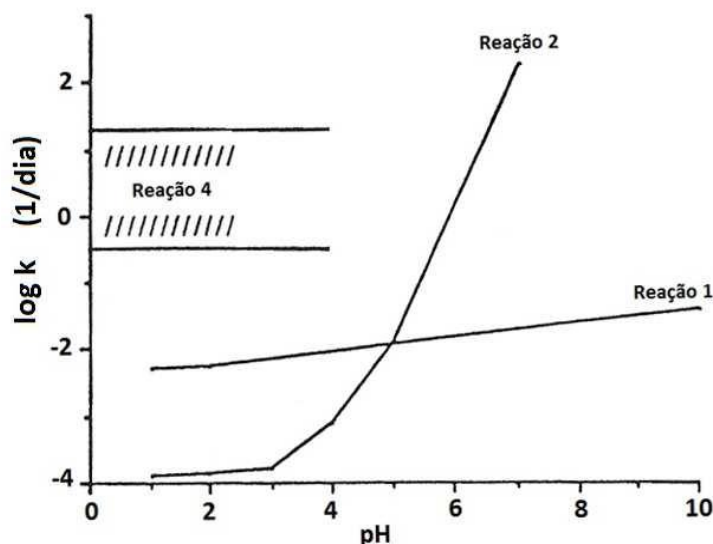
A reação (1) mostra a oxidação da pirita com liberação de Fe²⁺ e 2H⁺. Já na reação (2) o Fe²⁺ é oxidado a Fe³⁺ que se hidrolisa para formar hidróxido férrico (um composto insolúvel em pH superior a 3,5) e no processo, como é mostrado na reação (3), três novos H⁺ são liberados. Assim, para cada mol de pirita (FeS₂) 5H⁺ são liberados. No entanto, como um H⁺ é consumido para a oxidação do Fe²⁺ para Fe³⁺, apenas quatro H⁺ são realmente produzidos.

Uma vez iniciada a oxidação da pirita, o Fe³⁺ pode ser reduzido pela própria pirita, como é visto na reação (4). Portanto, segundo Evangelou (1995), a pirita continua se oxidando enquanto Fe³⁺ for produzido. Neste caso, tem-se que a conversão de Fe²⁺ a Fe³⁺ é a etapa limitante na reação de oxidação da pirita. Quando o pH cai a níveis muito baixos, na ordem de 2,5 a 3,5; a oxidação perde velocidade e é então que entram as bactérias *Thiobacillus ferrooxidans* que rapidamente oxidam Fe²⁺ a Fe³⁺.

As reações de 1 a 4 estão mostradas na Figura 11. Para pH abaixo de 4,5 a oxidação da pirita pelo íon férrico acontece mais rapidamente do que pelo oxigênio, e mais rapidamente do que Fe²⁺ dissolvido é oxidado a Fe³⁺ pelo oxigênio. Por esta razão, a reação (2) é apresentada como a etapa limitante para a oxidação da pirita. No entanto, bactérias que oxidam ferro, especialmente a *Thiobacillus ferrooxidans*,

podem acelerar a taxa de oxidação do Fe^{2+} a um fator de 10^6 , conforme ilustrado na Figura 12, onde a oxidação da pirita ocorre por Fe^{3+} (Reação 4); oxidação do Fe^{2+} pelo O_2 (Reação 2); e oxidação da pirita pelo O_2 (Reação 1).

Figura 12: Comparação das constantes de velocidade em função do pH



Fonte: Kantopoulos (1998)

Para Buzzi (2012), as bactérias *Thiobacillus ferrooxidans* são organismos acidofílicos equimilitotróficos e estão sempre presentes em ambientes geológicos contendo pirita. Assim, na presença da *Thiobacillus ferrooxidans* e pH ao redor de 2,0 a 3,0, a oxidação da pirita pode ser descrita pelas reações (2) e (4).

Em pH neutro a alcalino, a taxa de oxidação do Fe^{2+} sobe rapidamente, mas a concentração de Fe^{3+} também diminui devido à precipitação de hidróxido de ferro, conforme descrito na reação (3). Esta condição leva a crer que a participação de bactérias na oxidação da pirita é baixa em pH neutro a alcalino, onde acredita-se que em tais ambientes o oxigênio é mais importante na oxidação da pirita do que os íons férricos. Porém, esta ideia, é contrariada por um estudo que aponta o Fe^{3+} como oxidante preferencial para a pirita em pH neutro, e a importância do oxigênio seria oxidar o Fe^{2+} e sustentar o ciclo de oxidação.

A reação (3) acontece em ambientes com pH abaixo de 3, em que a reação é prontamente reversível, dissolução/precipitação, servindo como uma fonte de Fe^{3+} e sendo o passo mais importante para a liberação de ácido para o meio ambiente.

Outros minerais sulfetados, além da pirita, também são encontrados nos rejeitos da mineração de carvão, tais como: marcasita (FeS_2), calcopirita (CuFeS_2), calcosita (Cu_2S), esfalerita (ZnS), galena (PbS), millerita (NiS), pirrotita (Fe_xS_x , onde $0 < x < 0,2$), arsenopirita (FeAsS_2) e cinabre (HgS). A diversidade de minerais que podem estar presentes influencia diretamente nas características da DAM, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2: Características típicas de DAM

	Espécie química associada	Faixa de concentração	Impacto Ambiental
pH	H_2SO_4	2 – 4	- Mobilização de íons metálicos
Ferro	Fe^{2+} , Fe^{3+} , Fe_2O_3 e hidróxidos	100 – 3.000 (mg.L^{-1})	- Coloração e turbidez nas águas; - Incremento do pH; - Precipitação do Fe^{2+} .
Outros Metais	Cu, Mg, Zn, Cd, Hg, Pb, As	1 – 200 (mg.L^{-1})	- Redução da flora e fauna aquática; - Bioacumulação; - Redução da qualidade da água potável de abastecimento.
Sólidos totais	Ca, Mn, Al, SO_4^{2-}	100 – 30.000 (mg.L^{-1})	- Redução da qualidade da água de Abastecimento.

Fonte: Buzzi (2012)

Em Santa Catarina as bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Tubarão e Urussanga estão contaminadas com a DAM gerada pela indústria da mineração de carvão. Mais precisamente na região de Criciúma, aproximadamente dois terços da malha hidrográfica está comprometida devido a lixiviação das pilhas de rejeitos que contribuem para a acidificação dos solos e das águas superficiais, sendo assim, os rios da região apresentam pH inferior a 3, além de elevados teores de sulfatos de ferro, onde, observa-se também locais assoreados pela deposição de finos e ultrafinos do carvão, que provocam turbidez e aumentam a concentração de sólidos sedimentáveis (VAZ, 2003).

2.4.5 A ação civil pública do carvão

Segundo Pinheiro (2012), em virtude da degradação ambiental promovida pela atividade carbonífera na região de Criciúma, o Ministério Público Federal (MPF) moveu a ação pública nº 20.097 de 05/01/2000 que condenou solidariamente a União o Estado de Santa Catarina e as empresas mineradoras a promoverem a recuperação das áreas degradadas pela atividade mineradora no sul do Estado Catarinense. Como consequência desta condenação foi desenvolvido um programa onde estão inclusos vários projetos de recuperação da fauna, flora, solo e recursos hídricos da bacia carbonífera, Figura 13. O MPF instituiu ainda na criação de um grupo técnico de assessoramento à execução da sentença, formado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a Companhia de Pesquisa de Recursos minerais (CPRM), a Fundação de Amparo à Tecnologia e o Meio Ambiente (FATMA) e o Ministério do Meio Ambiente (MMA). Este grupo tem por função avaliar os resultados e apresentá-los ao MPF e ao Juízo.

Figura 13: Processo de Recuperação Judicial



Fonte: SIECESC (2000)

2.5 HISTÓRIA DO CIMENTO

A palavra cimento tem sua origem no Latim *Caementu* e tem registro de seu emprego nos monumentos egípcios, que utilizavam uma liga de gesso calcinado. Os Gregos e também os Romanos utilizavam como aglomerante, solos de origem vulcânica, da ilha de Santorino ou das proximidades da cidade de Pozzuoli na Itália. Porém, segundo Arnaldo Battagin no livro *Concreto: Ciência e Tecnologia*, IBRACON

(2011) a história do cimento teve como marco o ano de 1756 quando o Inglês John Smeaton, responsável pela reconstrução do Farol Eddystone em Cornwall na Inglaterra, obteve um produto com elevada resistência pela calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1818 o francês Vicat misturou componentes argilosos e calcários e obteve um produto com características semelhantes ao de Smeaton. Este feito lhe assegurou a denominação de o inventor do cimento artificial. Já em 1824 o construtor inglês Joseph Aspadin queimou uma mistura de pedras calcárias e argila e as transformou em um pó. Observou ainda que quando seca, a mistura do pó com água, sua resistência e coloração se assemelhavam as das rochas da ilha britânica de Portland, motivo pelo qual patenteou o produto como Cimento Portland.

Nos dias atuais, os cimentos Portland, são produzidos a partir de minerais ricos em óxidos, principalmente, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , SiO_2 sílica e gipsita $CaSO_4$ e com diferentes composições que lhes agregam características que melhor se adequam ao tipo de aplicação, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Tipo de cimento

Tipo de Cimento		Adição	Resistência (MPa)
CP I	Cimento Portland Comum		25
CP I-S	Cimento Portland comum com adição	Argila (1-5%)	25 ou 40
CP II-E	Cimento Portland composto com Escória	Escória (6-34%)	25, 32 ou 40
CP II-Z	Cimento Portland composto com Pozolana	Argila (6-14%)	25, 32 ou 40
CP II-F	Cimento Portland composto com Filer	Calcário (6-10%)	25, 32 ou 40
CP III	Cimento Portland de Alto-forno	Escória (35-70%)	25, 32 ou 40
CP IV	Cimento Portland Pozolânico	Argila (15-50%)	25 ou 32
CP V-ARI	Cimento Portland de alta resistência inicial		Variada
CPB	Cimento Portland Branco Estrutura		25, 32 ou 40

Fonte: Portal do concreto (2014)

2.5.1 O concreto

Segundo o Portal do Concreto (2014) o concreto é a mistura de cimento, água e agregados (areia e brita). Quando esses elementos são empregados nas

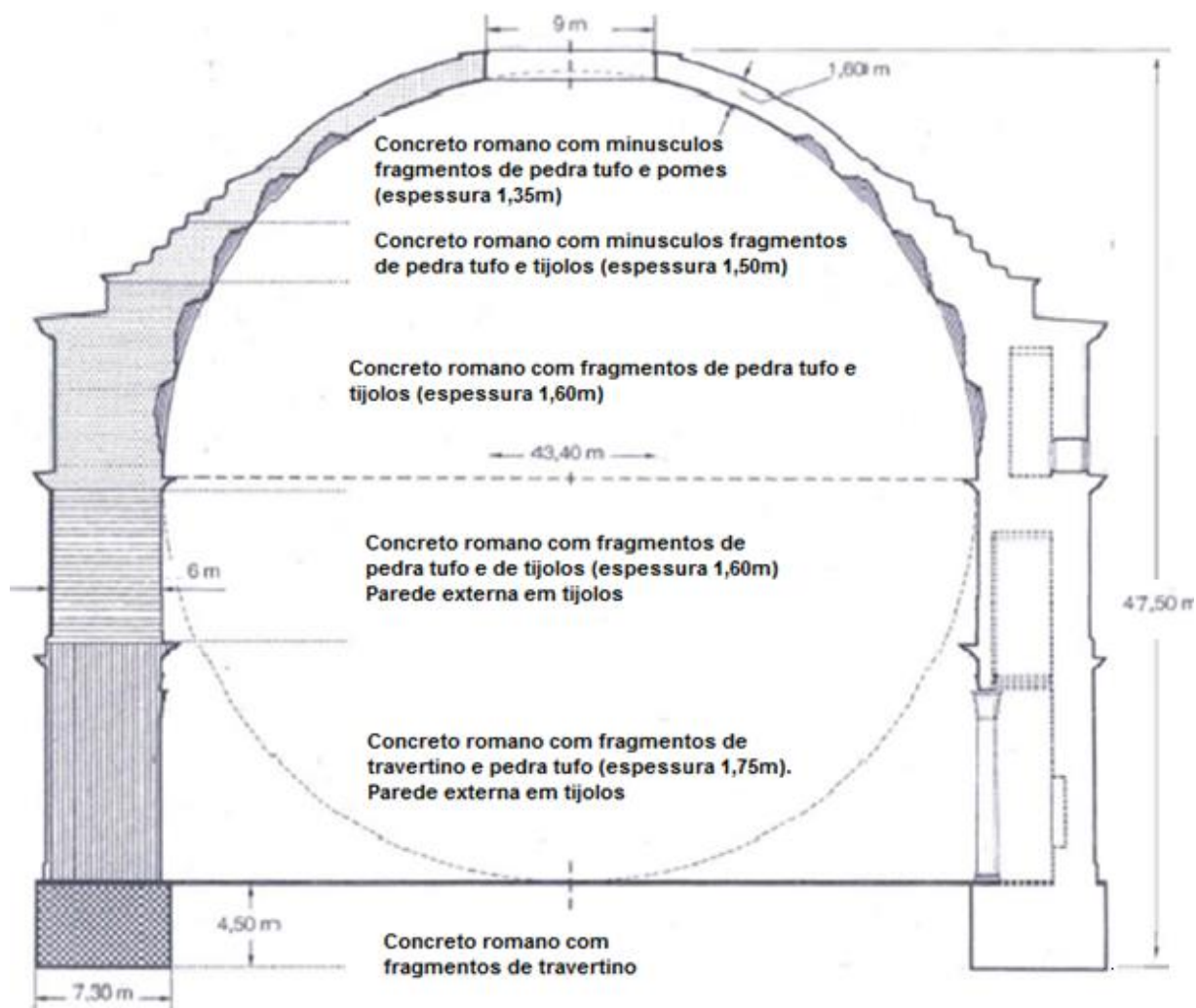
proporções adequadas, conferem ao que se está produzindo, características semelhantes às das rochas.

O concreto vem sendo empregado na construção civil, possibilitando ao homem construir estruturas, tais como: monumentos, pontes, edifícios, entre outros. Sendo que nos dias atuais, o uso do concreto é generalizado, não podemos mais conceber a construção civil sem o uso do concreto.

Segundo Venturi (2008), uma das mais importantes contribuições dos Romanos a humanidade foi a descoberta e o desenvolvimento do “*Opus caementicium*” o concreto romano, que no ano 27 antes de Cristo permitiu que o Consul e arquiteto Marco Vipsanio Agrippa construísse o Pantheon (Figura 14), o mais espetacular edifício da Roma antiga.

Ainda segundo Venturi (2008), deve-se dar atenção especial à quantidade de água adicionada ao concreto, pois dela depende a qualidade do mesmo, uma vez que se for pouca, a reação não ocorrerá por completo, já se for em demasia, uma nata de cimento e finos tenderá à superfície proporcionando o aparecimento de falhas no bloco monolítico quando seco.

Figura 14: Pantheon



Fonte: Adaptado de Venturi (2008)

2.5.2 Bloco de concreto para pavimentação de vias públicas

A fábrica de blocos de concreto da prefeitura de Criciúma está situada nas dependências do presídio municipal Santa Augusta, sendo responsável pela produção de blocos de concreto para pavimentação das vias públicas do município. Esta fábrica oferece um trabalho de inestimável valor sócio educativo aos apenados que adquiriram o direito de cumprirem suas penas em regime semiaberto. Ou seja, adquiriram o direito de trabalhar durante o dia e retornarem ao presídio no período noturno. Esta condição lhes permite reduzir o tempo de pena em função dos dias trabalhados, além de propiciar condições para o reingresso do apenado à sociedade.

Uma outra contribuição desta fábrica ao município de Criciúma reside no fato de que os blocos aí produzidos, estão proporcionando o capeamento das vias públicas a um custo reduzido e de modo ininterrupto, pois os blocos são produzidos pela própria prefeitura de Criciúma.

De modo geral, a urbanização impõe às bacias hidrográficas altas taxas de impermeabilização dos seus solos. As consequências são o aumento significativo dos níveis máximos das enchentes urbanas nos rios, córregos e canais, devido às chuvas intensas e a diminuição da taxa de infiltração, acarretando problemas de subsidência e na recarga dos aquíferos da água subterrânea (FENDRICH, 2009).

O aumento do escoamento superficial associado ao desenvolvimento é o primeiro sinal visível da alteração do ciclo da água, que é um dos primeiros fatores para deslanchar outros problemas como o aumento das enchentes urbanas e danos ecológicos (HUERGO, 2012).

As características físicas e a relativa facilidade de produção aliadas ao baixo custo de produção, tem permitido e incentivado o emprego de blocos de concreto nos mais diferentes formatos na pavimentação de vias urbanas bem como em pátios e passeios.

Neste sentido, estudos realizados por Araújo (2000) apontam que um pavimento em concreto impermeável acresce 44% ao coeficiente de escoamento superficial em relação ao solo compactado. Porém, se este pavimento for semipermeável construído com blocos de concreto Inter travados, o índice cairá para 22%.

A dosagem de cada componente empregada na produção de blocos de concreto, seja para alvenaria ou para pavimentação, ainda não tem uma metodologia consagrada. Muitas das técnicas aplicadas baseiam-se na experiência dos produtores de blocos, bem como nas recomendações dos fabricantes de vibro prensas. Frasson Junior (2000) em sua análise crítica das técnicas empregadas na produção de blocos de concreto, observou que em todas elas há pontos positivos e negativos, o que dificulta a escolha de uma ou outra técnica como a ideal.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para nortear os trabalhos, bem como, facilitar a leitura e o entendimento deste trabalho, foi produzido um esquema, onde cada etapa desenvolvida foi registrada. Pode-se também verificar neste esquema qual a sequência seguida durante a execução das atividades e os ensaios realizados.

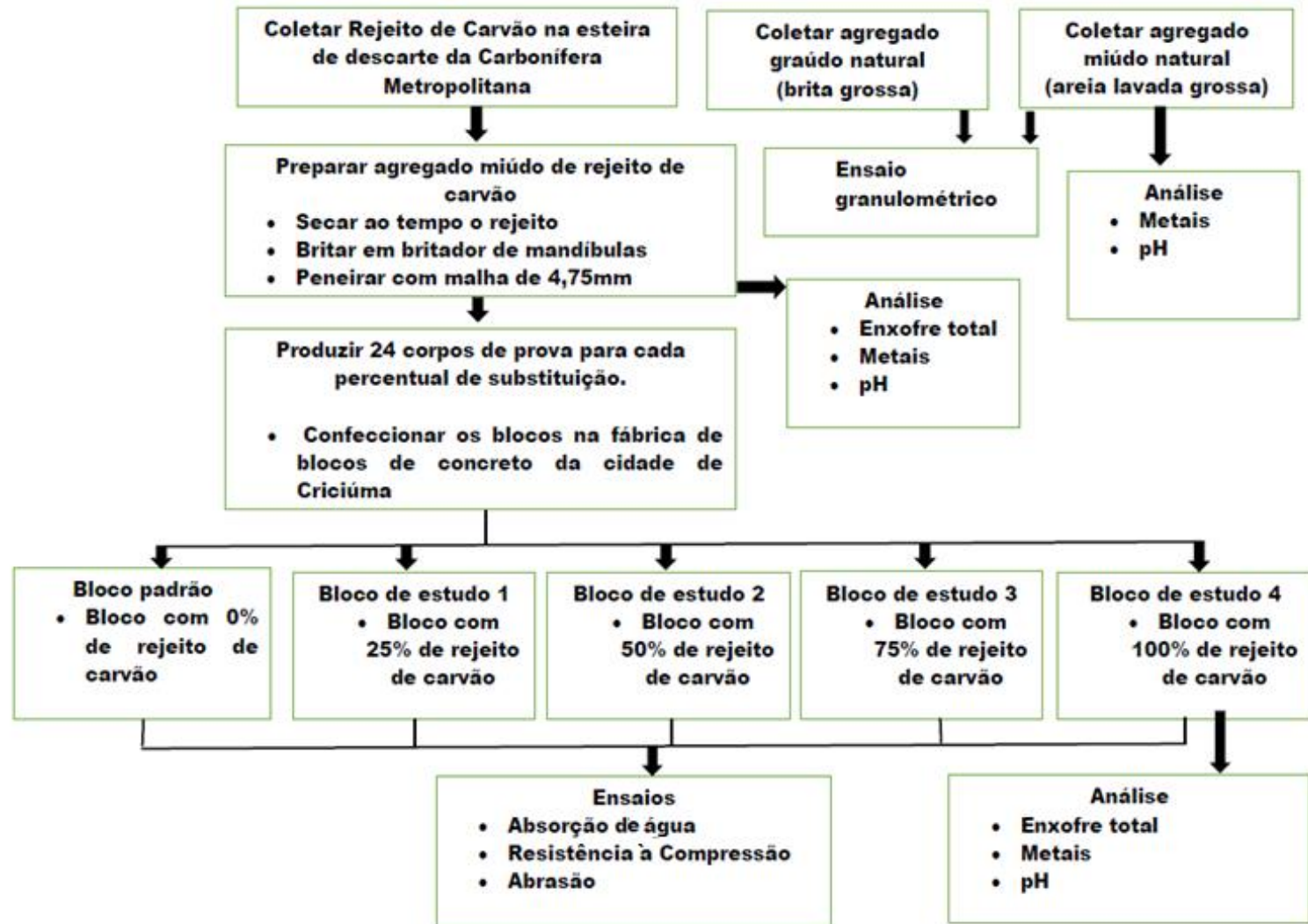
O trabalho teve início com a coleta aleatória do rejeito de carvão diretamente da correia transportadora de rejeitos da Carbonífera Metropolitana, na cidade de Treviso Santa Catarina. Terminado esse processo, a amostra de rejeito foi deixada para secagem ao ar livre e estando seca, iniciou-se o processo de beneficiamento, que neste caso foi a britagem do material em um britador de mandíbulas conforme pode ser observado na Figura 15.

Figura 15: Britador de Mandíbulas



A Figura 16 apresenta o esquema de execução dos trabalhos.

Figura 16: Esquema de execução dos trabalhos



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 17 mostra o rejeito de carvão após o processo de britagem.

Figura 17: Rejeito de carvão após a britagem



Fonte: Acervo do autor

Terminada a britagem, uma amostra do material obtido foi separada, seca em estufa e aplicada a um conjunto de 4 peneiras, com malhas de 4,75mm; 2,36mm; 1,0mm e 0,3mm; montadas sobre uma mesa vibratória. Este procedimento, com exceção da britagem foi aplicado para o agregado miúdo natural, areia lavada grossa, bem como para o agregado graúdo, brita. Os resultados destes testes podem ser verificados na Tabela 4 e na Tabela 5, enquanto que o conjunto de peneiras está evidenciado pela Figura 18.

Todo o rejeito de carvão, após britado, foi peneirado com malha 4,75mm, assim, o material que apresentou granulometria superior a esta malha foi descartado, não participando assim, da fabricação dos blocos de concreto que foram utilizados como corpos de prova para os ensaios realizados, pois segundo a norma NBR 7211 (ABNT, 2013), esta granulometria é de agregado graúdo.

Figura 18: Conjunto de peneiras



Fonte: Acervo do autor

A Tabela 4 apresenta os percentuais de retenção dos agregados nas peneiras.

Tabela 4: Percentuais de retenção dos agregados nas peneiras

Malha da peneira (mm)	Rejeito de carvão (g)	Areia (g)	Percentual de rejeito (%)	Percentual de areia (%)
4,75	1.049	81	39,51%	3,24%
2,36	708	383	26,67%	15,31%
1	437	717	16,46%	28,66%
0,3	290	880	10,92%	35,17%
Abaixo de 0,3	171	441	6,44%	17,63%
Total amostra (g)	2.655	2.502	100%	100%
Modulo de finura	2,84	1,51		

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 5 apresenta a retenção de brita nas peneiras.

Tabela 5: Retenção de brita nas peneiras

Malha da peneira (mm)	Brita (g)	Percentual de Brita (%)
9,5	5.246	69,42%
6,35	1.701	22,51%
4,75	306	4,05%
2,38	304	4,02%
Total amostra (g)	7.557	100%

Fonte: Elaborado pelo autor

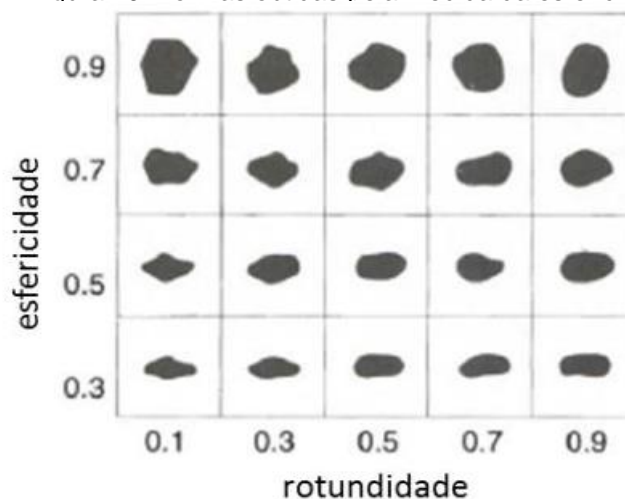
3.1 GRANULOMETRIA

Segundo Metha e Monteiro (2008), as características dos grãos do agregado miúdo influenciam de maneira significativa nas propriedades do concreto tanto no estado fresco como endurecido. Assim, a forma dos grãos está diretamente relacionada com o consumo de cimento da mistura. Já, Farias e Palmeira (2007), afirmam que as partículas angulosas proporcionam um melhor entrosamento entre partículas, o que confere maior resistência ao concreto, porém, poderão exigir uma quantidade de água maior, o que acarretaria uma diminuição da resistência à compressão.

Em seu estudo, Bicca (2000), diz que a pasta normalmente adere melhor em uma superfície áspera e isenta de qualquer impureza do que em uma superfície lisa. Assim, o formato dos grãos dos agregados britados, bem como a sua granulometria, teor de material pulverulento e textura superficial dependem da origem mineralógica da rocha matriz e do tipo de equipamento empregado para a trituração da rocha. Quando são utilizados britadores do tipo cone, martelo ou rolo para obtenção dos agregados observa-se que os grãos dos agregados apresentam-se mais angulosos do que aqueles oriundos da britagem no britador do tipo giroférico de impacto vertical, também conhecido como VSI (Influência da forma dos agregados miúdos nas

propriedades do concreto, 2011). A Figura 19 mostra a forma dos grãos obtida por esfericidade.

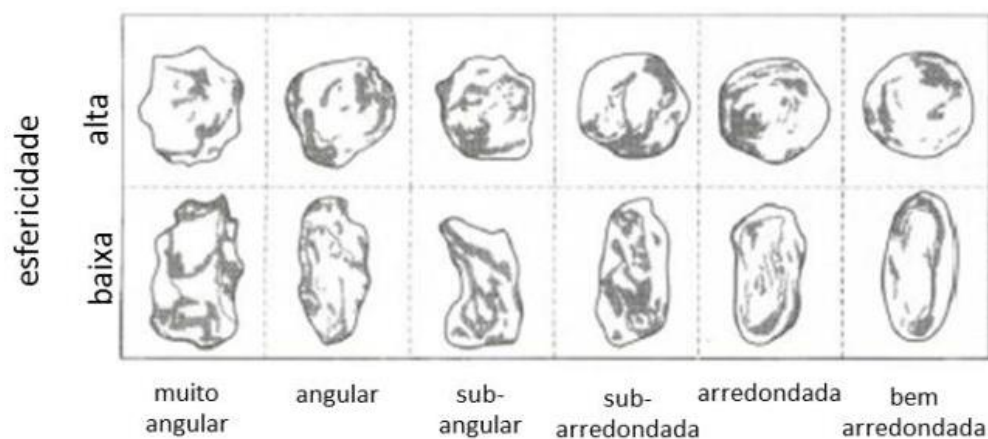
Figura 19: Formas obtidas pela medida da esfericidade



Fonte: Hewlett (2003)

Observou-se no gráfico acima que as esfericidades obtidas representam maior adesão ao cimento. Já a Figura 20, mostra a forma dos grãos obtidos pela análise morfológica.

Figura 20: Formas obtidas com base em observações morfológicas



Fonte: Hewlett (2003)

3.2 FÁBRICA DE BLOCOS DE CONCRETO

A fábrica de blocos de concreto para pavimentação do município de Criciúma, Figura 21, é composta basicamente por: Uma betoneira, uma mesa vibratória, uma forma para moldar os blocos e bases de madeira para depositar os blocos produzidos que irão aguardar o processo de cura ao ar livre.

Figura 21: Fábrica de blocos de concreto da cidade de Criciúma



Fonte: Acervo do autor

Tomando-se o trabalho, em nível laboratorial, realizado por Santos (2012), procurou-se produzir os blocos, que serviram de base para este estudo, na mesma proporção de substituição do agregado natural (areia lavada) pelo agregado miúdo produzido com rejeito de carvão, por ele utilizado.

Sendo assim, o método produtivo dos blocos de estudo manteve-se o mais fiel possível ao processo produtivo estabelecido e historicamente validado pela produção da fábrica, uma vez que os blocos ali produzidos vêm sendo utilizados na pavimentação das vias públicas do município de Criciúma. Assim, as mudanças impostas ao processo produtivo dos blocos de estudo restringiram-se ao agregado miúdo, ou seja, houve a substituição gradual da areia lavada por rejeito de carvão no concreto produzido para a confecção dos blocos e o aumento da porção de água adicionada ao concreto, para manter o ponto de trabalhabilidade, que se fez necessário devido à quantidade de rejeito de carvão nas proporções de 75% e 100%.

O carregamento completo da betoneira, com areia, brita, cimento e água e suas proporções estão apresentadas na Tabela 6. Estas medidas poderão apresentar algumas variações, devido ao fato de que na fábrica não é empregado uma balança na determinação das medidas dos agregados e cimento, bem como de maneira análoga, não é empregado um medidor graduado em litros para determinação da quantidade de água. As medidas dos insumos do concreto são medidas em baldes, cabendo ao pesquisador a pesagem dos baldes contendo os agregados e o cimento e a medição em litros da água utilizada no concreto.

Tabela 6: Quantidade de material para carregamento da betoneira

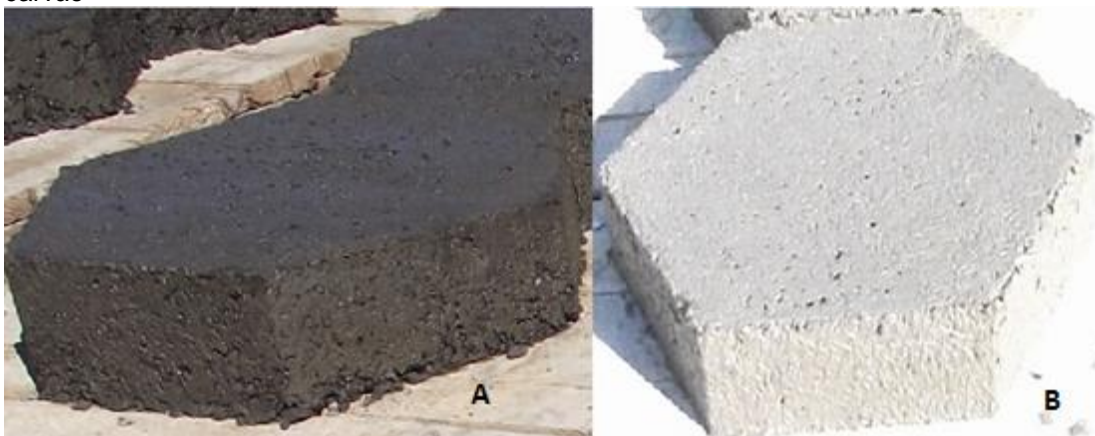
% de mistura do agregado miúdo	0%	25%	50%	75%	100%	Unidade
Rejeito de carvão	0	41,1	82,2	123,3	164,4	Kg
Areia lavada	204	153	102	51	0	Kg
Brita	122,5	122,5	122,5	122,5	122,5	Kg
Cimento CP V-ARI	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	Kg
Água	15	15	15	20	20	L
Relação água/cimento	0,77	0,77	0,77	1,03	1,03	água/cimento
Peso por bloco	14,4	14,0	13,6	13,2	12,8	Kg
Quantidade blocos produzido	24	24	24	24	24	Pç

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 22 mostra a aparência dos blocos com 100% e 0% de mistura de rejeito de carvão, respectivamente, segundos após terem sido desformados e depositados sobre a base de madeira onde permanecem por sete dias para cura antes de serem aplicados na pavimentação das vias públicas da cidade de Criciúma.

Foram escolhidos os percentuais de 100% e 0% justamente por apresentarem uma acentuada diferença na tonalidade da cor dos blocos, que se deve ao alto nível de umidade e coloração do agregado miúdo constituinte dos mesmos.

Figura 22: Blocos com 100% (A) e 0% (B) de substituição do agregado miúdo pelo rejeito de carvão



Fonte: Acervo do autor

3.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

A absorção de água está ligada diretamente à porosidade do bloco, assim, quanto mais poroso maior os espaços entre os grãos. Essa porosidade permite então que mais água penetre no bloco, fazendo com que este aumente de peso. Mas, o maior problema evidenciado pela absorção de água é a queda na resistência mecânica do bloco, pois se espera que o bloco de concreto se assemelhe a rocha, ou seja, seja compacto e sem porosidade.

A determinação da quantidade de água absorvida pelos blocos do estudo, foi baseada no método proposto no anexo B da NBR 9781 (ABNT, 2013), e realizado nas idades de cura de 7, 28 e 90 dias. Sendo assim, foram utilizados dois blocos de concreto para cada percentual de mistura do agregado miúdo utilizado, denominados de: "corpo de prova A e B".

O lote teste, composto por 10 blocos, ficou assim distribuído:

- Dois blocos com 0% de substituição do agregado miúdo natural;
- Dois blocos com 25% de substituição do agregado miúdo natural;
- Dois blocos com 50% de substituição do agregado miúdo natural;
- Dois blocos com 75% de substituição do agregado miúdo natural;
- Dois blocos com 100% de substituição do agregado miúdo natural;

O lote teste, foi imerso em um tanque com água à temperatura de 25° Celsius, monitorada por termômetro analógico, sendo assim mantido por um período de 24h. Findo esse tempo, o corpo de prova “A” com percentual de 0% de substituição do agregado miúdo natural, foi retirado do tanque e colocado sobre uma grelha por um minuto, tempo determinado para escorrer o excesso de água. Na sequência, foram pesados em uma balança eletrônica, Marte modelo AD50K (Figura 23), com a unidade de medida em gramas e com precisão de três dígitos após a casa decimal.

Figura 23: Balança de precisão



Fonte: Acervo do autor

A totalidade dos registros assinalados em planilha, podem ser vistos no Apêndice A, enquanto que os resumos destas pesagens estão evidenciados na Tabela 7. Após este registro, o corpo de prova “A” foi reinserido no tanque com água e iniciado o procedimento com o corpo de prova “B” do mesmo percentual de substituição do agregado miúdo.

Esta condição perdurou até que todos os blocos com os percentuais de 25%, 50%, 75% e 100% de substituição da areia pelo rejeito de carvão, passassem pelo procedimento de pesagem e registro.

Atingida esta condição, e estando todos os corpos de prova submersos na água, esperou-se por duas horas, quando então reiniciou-se todo o processo. Como não verificou-se nenhuma diferença superior a 0,5%, para mais ou para menos, entre as pesagens e embasado no que preconiza a NBR 9781 (ABNT, 2013), considerou-

se os corpos de prova saturados e partiu-se para a segunda fase do processo de determinação da absorção de água, como definido pela mesma NBR.

Uma vez atingida a constância de massa da fase de saturação com água dos blocos de concreto, passou-se à fase de secagem dos mesmos. Os corpos de prova foram então inseridos na estufa, Lufereco, com temperatura máxima de 250 ° Celsius (Figura 24), a qual teve sua temperatura elevada de forma gradual e controlada até atingir 110°C. Uma vez atingido a temperatura de secagem, os blocos permaneceram na estufa pelo período de 24h, estipulado pela NBR 9781 (ABNT, 2013), quando então passou-se ao procedimento de pesagem dos mesmos.

Figura 24: Estufa



Fonte: Acervo do autor

Os blocos foram retirados da estufa na mesma sequência efetuada quando da retirada do tanque de água. Sendo assim, foi retirado da estufa o corpo de prova “A” com 0% de substituição do agregado miúdo natural. Este bloco foi então pesado na mesma balança onde fora pesado quando saturado com água. Após o registro da leitura da balança, o bloco foi recolocado na estufa e retirado o corpo de prova “B”,

com mesmo percentual de substituição, e efetuada a pesagem e registro do valor obtido.

Este procedimento foi seguido até que todos os corpos de provas com 25%, 50%, 75%, e 100% de substituição do agregado miúdo pelo rejeito de carvão fossem pesados e reinsertos na estufa.

Decorridos duas horas do reingresso dos blocos na estufa, como preconiza a NBR 9781 (ABNT, 2013), todo o procedimento anteriormente descrito foi repetido.

Novamente aqui foi confirmada a obtenção da constância de massa, evidenciadas nos Apêndices A e B, enquanto, a Tabela 6 mostra a média das medidas realizadas nos corpos de prova "A", bem como, nos corpos de prova "B" para cada tempo de cura.

Já a Tabela 7, mostra o resultado das médias obtidas com os valores dos corpos de prova "A" e "B" para cada intervalo de cura.

Tabela 7: Média das medições em relação a absorção de água dos corpos de prova "A" e "B"

Média dos Corpos de prova A e B							
% de rejeito de carvão	Média das medições	Imersão em água a 25°C (m2)			Secagem a 110°C (m1)		
		7 dias	28 dias	90 dias	7 dias	28 dias	90 dias
0%	(Kg)	13,603	13,479	13,382	12,858	12,780	12,776
25%	(Kg)	13,860	13,935	14,118	13,067	13,179	13,391
50%	(Kg)	14,004	13,918	13,791	13,226	13,314	13,235
75%	(Kg)	13,680	13,322	13,382	12,837	12,559	12,830
100%	(Kg)	11,972	12,283	12,577	11,128	11,522	11,891

Fonte: Elaborado pelo autor

Novamente baseados na NBR 9781 (ABNT, 2013), os blocos foram considerados secos e retirados da estufa e deixados para resfriarem até a temperatura ambiente de forma natural, quando então o ensaio de absorção de água foi considerado finalizado. Terminada a fase de coleta de dados, passou-se para os cálculos para determinar o percentual de absorção de água dos blocos em questão. Para tal utilizou-se a Equação 1.

$$\alpha\% = 100x \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \quad (1)$$

Onde:

$\alpha\%$ – Percentual de absorção de água;

m_2 – Copo de prova saturado em água;

m_1 – Corpo de prova seco.

O percentual de absorção de água ($\alpha\%$) determina o quão permeável é o bloco. Esta condição está diretamente ligada à existência de poros na superfície, bem como no interior destes blocos de concreto.

A Tabela 8 explicita os valores dos percentuais de absorção de água calculados para os corpos de prova “A” e “B”, nas idades de maturação e nos percentuais de substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo de rejeito de carvão, que é base deste trabalho.

Tabela 8: Média da absorção de água para os corpos de prova “A” e “B”

Cálculo da absorção de água pelos blocos de concreto							
% de rejeito de carvão	Média das medições	Imersão em água a 25°C (m2)			Secagem a 110°C (m1)		
		7 dias	28 dias	90 dias	7 dias	28 dias	90 dias
0%	(Kg)	13,603	13,479	13,382	12,858	12,780	12,776
$\alpha\%$		5,794	5,469	4,743			
25%	(Kg)	13,860	13,935	14,118	13,067	13,179	13,391
$\alpha\%$		6,069	5,736	5,429			
50%	(Kg)	14,004	13,918	13,791	13,226	13,314	13,235
$\alpha\%$		5,882	4,537	4,201			
75%	(Kg)	13,680	13,322	13,382	12,837	12,559	12,830
$\alpha\%$		6,567	6,075	4,302			
100%	(Kg)	11,972	12,283	12,577	11,128	11,522	11,891
$\alpha\%$		7,584	6,605	5,769			

Fonte: Elaborado pelo autor

3.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO

O ensaio de resistência à abrasão mede a resistência ao desgaste superficial dos grãos do agregado quando este é submetido ao atrito. Esta é uma variável muito importante neste estudo, pois os blocos foram submetidos ao atrito das rodas dos veículos que diariamente circularão pelas vias públicas pavimentados com estes blocos de concreto.

Para este ensaio quanto menor for a medida, em mm, do desgaste, melhor será a compactação do bloco e conseqüentemente, mais difícil será destacar os grãos do mesmo. Esta é uma característica desejada, uma vez que os blocos estarão sujeitos aos mais variados níveis de fricção, ocasionados por veículos de passeio, de carga e máquinas que transitarão sobre os mesmos.

O ensaio de resistência à abrasão foi realizado no laboratório de desenvolvimento e caracterização de materiais – LDCM do SENAI_{SC}/CTC_{mat}– Centro de Tecnologia em Materiais, o qual norteou a análise no anexo C da norma NBR 9781 (ABNT, 2013), onde um disco de aço foi colocado em contato com o corpo de prova, girando 75 vezes em 60s. Entre ambos foi aplicado o elemento abrasivo e no final das 75 revoluções o sulco produzido foi medido em mm com paquímetro e registrado no relatório de ensaio (Apêndice B), com maturidades de 28 e 90 dias respectivamente. As médias estão registradas na Tabela 9.

Tabela 9: Ensaio de Resistência à Abrasão

% de mistura do agregado miúdo	Maturidade		Unidade
	28 dias	90 dias	
0%	21	19,5	mm
25%	20,25	18,5	mm
50%	19,25	20,5	mm
75%	20,25	21	mm
100%	19	20	mm

Fonte: Relatório LDCM

3.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência à compressão refere-se à capacidade de o bloco suportar uma força aplicada sobre o mesmo sem se danificar. Ela está diretamente relacionada à compactação do bloco, sendo assim, quanto mais compacto e conseqüentemente menos poroso este for, maior será sua resistência à compressão.

Este ensaio permite indiretamente avaliar a vida útil do bloco, pois quando este for submetido ao trânsito de veículos, irá deteriorar-se paulatinamente até atingir o ponto de colapso. A fragmentação decorrente dessa condição inutilizará o bloco, gerando assim, a necessidade de uma manutenção na via pública.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado no laboratório de desenvolvimento e caracterização de materiais – LDCM do SENAI_{sc}/CTC_{mat}– Centro de Tecnologia em Materiais, que também norteou o ensaio na norma NBR 9781 (ABNT, 2013), onde os corpos de prova foram submetidos a uma força constante em uma máquina de compressão até sua ruptura ou colapso. Os relatórios dos ensaios podem ser vistos no Apêndice C. Na Tabela 10 estão registradas as médias das amostras ensaiadas.

Tabela 10: Ensaio de Resistência à Compressão

% de mistura do agregado miúdo	Maturidade		Unidade
	28 dias	90 dias	
0%	20,45	18,5	MPa
25%	19,7	20,6	MPa
50%	19,8	20,7	MPa
75%	17,9	19,8	MPa
100%	10,75	13,3	MPa

Fonte Relatório LDCM

3.6 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE DAM

Para Campaner e Silva (2013) e Weis, Viadeiro e Bohjappa (2008), a drenagem ácida de mina (DAM) é um grave problema oriundo das atividades de mineração de carvão, por causar a degradação da qualidade de águas superficiais e subterrâneas, dos solos e sedimentos, sendo caracterizada por pH baixo, alta condutividade e altas concentrações de alumínio, ferro, manganês e zinco, entre outros metais e metalóides, que contribuem para o aumento da acidez destas drenagens, uma vez que podem sofrer reações de hidrólise. Sendo assim, para determinar o potencial de geração de DAM, buscou-se conhecer o pH dos blocos de concreto, com o auxílio do pH metro Denver UB 10, Figura 25, onde o eletrodo de leitura após ser lavado com água deionizada foi imerso no extrato lixiviado, obtido segundo o que determina a NBR 10005 (ABNT, 2004), até a estabilização e o conseqüente registro do valor.

Figura 25: pHmetro



Fonte: Acervo do autor

A concentração dos metais Al, Fe, Mn e Zn, presentes no líquido, antes e depois de lixiviado, foi obtida com o auxílio de um espectrofotômetro de absorção atômica Shimadzu AA-6800 (Figura 26), pois a acidez revela a existência de metais nos blocos de concreto.

Figura 26: Espectrofotometro de Absorção Atômica AA 6800



Fonte: do autor

O ensaio para determinação dos metais foi realizado no laboratório Laqua da SATC, que norteia este ensaio no que preconiza o *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*, 22nd Edition (2012). Assim, o estrato lixiviado foi acidificado com Ácido Nítrico concentrado (HNO_3) até pH menor do que 2. Na sequência, uma alíquota de 250mL, acrescida de 5ml de Ácido Nítrico foi transferida para um béquer onde foi reduzida a 20mL em chapa elétrica. Estes 20mL após resfriarem, foram então transferidos para um balão volumétrico de 250mL que foi completado com água deionizada. Com a ajuda do espectrofotômetro de absorção atômica Shimadzu AA-6800 foram determinadas as quantidades dos metais presentes nas amostras.

Inicialmente analisou-se o pH e a concentração dos metais, nas amostras de agregado miúdo natural (areia) e no agregado miúdo produzido com rejeito de carvão. Desta análise obteve-se os dados apresentados na Tabela 11.

Para melhor entender o comportamento dos resultados do pH do rejeito de carvão, foi feita a análise de enxofre total, uma vez que esse elemento está ligado diretamente à acidez dos efluentes de mineração. Assim, encontrou-se o valor de 4,9% de enxofre no rejeito de carvão utilizado como agregado miúdo para o concreto.

Tabela 11: pH e concentração de metais presentes nos agregados

Agregado miúdo	Antes da Lixiviação	Depois da Lixiviação				
		pH	Alumínio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Zinco (mg/L)
Rejeito	5,8	4,8	N.D.	0,67	0,54	0,04
Areia	3,7	4,7	N.D.	1,17	0,09	0,15

Fonte: Elaborado pelo autor

Para que fosse possível a realização das análises, se fez necessário lixiviar os agregados, segundo o que determina a ABNT NBR 10005 (2004). Para tal, foi retirado 25g da amostra de cada agregado e transferida para um béquer de 100mL, onde foi adicionado 500mL de solução extratora nº 1 conforme item 4.2.6 da NBR 10005:2004. Esta solução foi mantida em agitação durante 18h a uma rotação de 30 rpm no lixiviador (Figura 27). Na sequência a solução foi passada pelo filtro a vácuo com papel de filtração lenta, obtendo-se assim, o extrato lixiviado de onde foram determinados o pH e os metais.

Figura 27: Lixiviador



Fonte: Acervo do autor

Para a análise das amostras produzidas pelos blocos nas proporções de 0%, 25%, 50% e 100% de substituição do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo de rejeito de carvão, foi necessário a britagem dos blocos, de forma individual, em um britador de mandíbulas, o qual foi limpo após cada britagem para evitar a contaminação.

Com o material britado, pertencente aos blocos de concreto de cada percentual de substituição, iniciou-se o processo de lixiviação para obtenção do estrato lixiviado que foi utilizado na obtenção do pH e dos metais presentes nas amostras. Os valores obtidos foram registrados na Tabela 12. Todo este processo foi repetido para os tempos de cura de 7, 28 e 90 dias.

Tabela 12: pH e Metais

% de substituição	Tempo de cura em dias	pH		Metais (mg/L)			
		Antes da lixiviação	Depois da lixiviação	Al	Fe	Mg	Zn
0	7	11,60	9,72	N.D	0,01	N.D	N.D
	28	11,46	3,34	24,97	7,23	0,32	0,17
	90	11,00	5,10	0,19	0,26	0,16	0,16
25	7	11,60	9,87	N.D	N.D	N.D	N.D
	28	11,40	2,01	118,67	35,25	1,36	0,49
	90	10,90	5,20	N.D.	0,23	0,34	0,16
50	7	11,74	5,50	0,68	0,34	2,14	0,31
	28	11,36	2,49	66,13	18,08	0,79	0,21
	90	11,10	5,50	N.D.	0,14	0,63	0,12
75	7	11,70	5,30	1,03	0,74	3,00	0,38
	28	11,36	3,54	110,59	42,05	2,11	0,46
	90	10,80	5,40	N.D.	0,43	0,59	0,13
100	7	11,77	10,27	N.D	N.D	N.D	N.D
	28	11,13	1,96	22,67	33,4	1,87	0,37
	90	10,70	5,50	N.D.	0,12	1,08	0,11

Fonte: Elaborado pelo autor

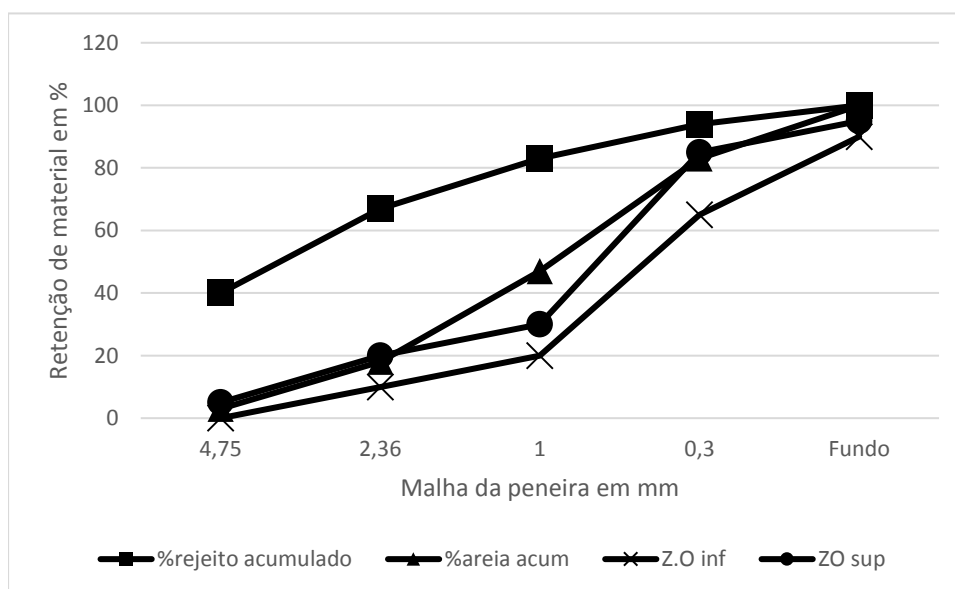
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nas análises desenvolvidas durante a execução do trabalho.

4.1 GRANULOMETRIA

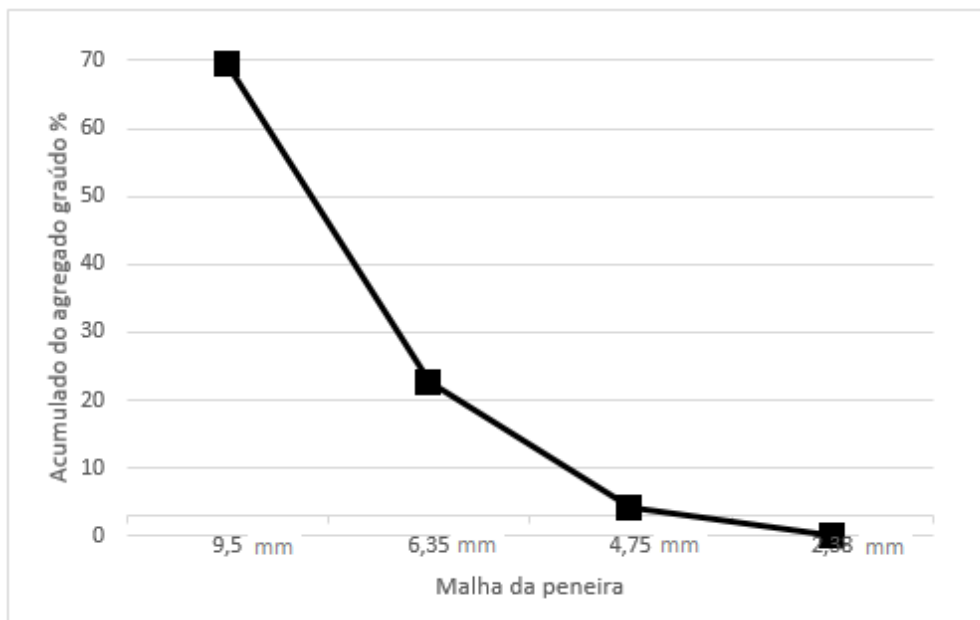
O rejeito de carvão obtido no final do processo de lavagem do carvão ROM, apresenta uma granulometria que o caracteriza, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), como agregado graúdo. Sendo assim, precisou passar por um processo simples de beneficiamento com uma etapa de britagem, sendo essa executada no britador de mandíbulas visto na Figura 14 do capítulo 3. Na sequência aplicou-se uma etapa de peneiramento, que foi executado no conjunto de peneiras visto na Figura 17, também no capítulo 3. Estas etapas se fizeram necessárias para adequar-se à granulometria de agregado miúdo como definido pela NBR acima citada. Como pode ser observado na Figura 28. A Figura 29, mostra os valores obtidos no ensaio granulométrico aplicado ao agregado graúdo.

Figura 28: Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 29: Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 FÁBRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO

A fábrica de blocos de concreto para pavimentação de vias públicas do município de Criciúma, Santa Catarina, onde foram produzidos os corpos de prova base desse estudo, está localizada no presídio regional de Criciúma, no bairro Santa Augusta. Esta fábrica é bastante simples e conta com uma betoneira, uma mesa vibratória, um molde sextavado em aço que dá forma ao bloco de concreto ali produzido, além de algumas padiolas de madeira onde o bloco desformado aguarda o processo de cura antes de ser levado aos canteiros de obras.

A fábrica de blocos de concreto para pavimentação do Município de Criciúma cumpre um relevante papel social, pois atua diretamente na ressocialização dos apenados daquele presídio que por terem cumprido parte de suas penas, em regime fechado, atingiram a condição onde a lei lhes faculta o direito ao benefício da comutação do regime de cumprimento da pena de fechado para semiaberto, ou seja, poderão passar o período diurno trabalhando, fora de suas celas, porém, deverão retornar a estas no período noturno.

O fato de estarem trabalhando nesta fábrica, proporciona aos apenados uma melhora na autoestima e lhes qualifica para um reingresso menos traumático no mercado de trabalho, oportunizando a estes as condições para que não reingressem no sistema carcerário da cidade.

Para o município o ganho vem do fato que a produção dos blocos de concreto em fábrica própria, proporciona uma redução nos custos, além do fato de que uma vez reabilitado, o apenado deixa de cometer crimes contra o patrimônio alheio, diminuindo assim, a criminalidade e aumentando a sensação de segurança dos municípios de Criciúma e região.

4.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para este ensaio, quanto menor for o percentual de absorção de água, melhor será a compactação do bloco e conseqüentemente, melhor serão as demais características avaliadas neste estudo.

Os resultados obtidos para o ensaio de absorção de água dos corpos de prova A e B nas proporções de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de substituição da areia por rejeito de carvão estão disponibilizados na Tabela 13.

Tabela 13: Média das medições realizadas em relação a absorção de água nos corpos de prova “A” nos corpos de prova “B”

Corpo de prova A							
% de rejeito de carvão	Média das medições	Imersão em água a 25°C (m ₂)			Secagem a 110° C (m ₁)		
		7 dias	28 dias	90 dias	7 dias	28 dias	90 dias
0%	(Kg)	13,494	13,506	13,289	12,763	12,772	12,718
25%	(Kg)	13,572	14,134	14,164	12,843	13,326	13,374
50%	(Kg)	14,075	13,768	14,202	13,263	13,158	13,607
75%	(Kg)	13,901	13,496	13,534	13,042	12,708	13,018
100%	(Kg)	11,664	12,184	12,730	10,826	11,423	12,086
Corpo de prova B							
0%	(Kg)	13,712	13,453	13,475	12,953	12,788	12,834
25%	(Kg)	14,149	13,736	14,073	13,290	13,033	13,408
50%	(Kg)	13,934	14,069	13,381	13,190	13,471	12,864
75%	(Kg)	13,460	13,148	13,231	12,632	12,411	12,642
100%	(Kg)	12,280	12,382	12,424	11,430	11,621	11,696

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados obtidos dos cálculos da absorção de água dos corpos de prova nas proporções de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de substituição da areia por rejeito de carvão estão disponibilizados na Tabela 14 e de forma visual na Figura 29.

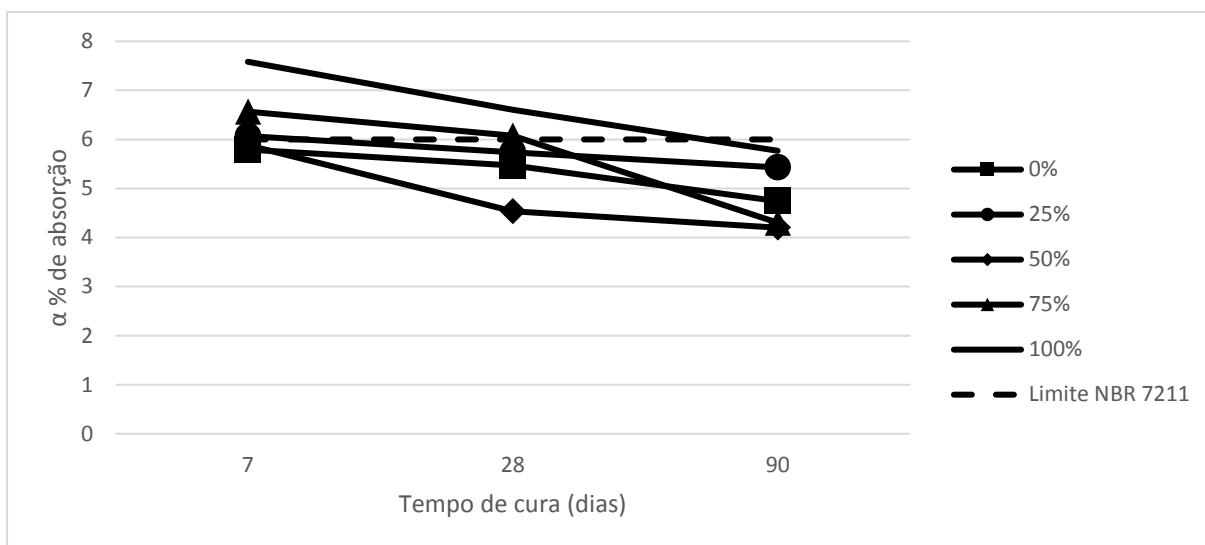
Tabela 14: Ensaio de Absorção d'água

% de rejeito de carvão	α %		
	7 dias	28 dias	90 dias
0%	5,794	5,469	4,743
25%	6,069	5,736	5,429
50%	5,882	4,537	4,201
75%	6,567	6,075	4,302
100%	7,584	6,605	5,769

Fonte: Elaborado pelo pesquisador

A Figura 30 apresenta o gráfico sobre o ensaio de resistência a abrasão.

Figura 30: Ensaio de Absorção de água



Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme pode ser observado na Tabela do apêndice “A”, o aumento de peso gerado em função da absorção de água apresentada pelos corpos de prova “A” e “B”, ficaram bastante próximas, mostrando que as peças do lote teste são bastante homogêneas. Sendo assim, pode-se, por analogia, considerar que as demais características do lote também estarão muito próximas.

Da análise da Figura 29, percebe-se que os corpos de prova acrescidos de rejeito de carvão na sua composição, apresentaram um resultado muito próximo ao do bloco padrão (0% de rejeito). Destaca-se aí o fato que o corpo de prova na proporção de 50% de rejeito de carvão em sua composição, apresentou, aos 28 e 90 dias de cura, um resultado melhor que o apresentado pelo corpo de prova padrão, sendo inferior somente aos 7 dias de cura.

O pior resultado foi apresentado pelo corpo de prova produzido somente com rejeito de carvão como agregado miúdo. Confirmando os dados da pesquisa que, à medida que o tempo passa, a taxa de absorção vai diminuindo, pois, o concreto está em processo de cura, o que faz com que seja menos permeável aos 90 dias do que aos 7 ou 28 dias, para todos os percentuais de substituição.

Essa constatação vem corroborar o fato de que todos os corpos de prova apresentaram aos 90 dias de cura uma absorção de água inferior a 6%, que é o limite

de corte dado pela NBR 7211 (ABNT, 2005). Pode-se afirmar que, nesse requisito o rejeito de carvão mostrou-se promissor para sua utilização.

4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO

Os valores registrados na Tabela 15 e visualizados na Figura 30 apresentam os resultados dos ensaios de abrasão executados nos corpos de prova, onde pode ser observado que o melhor resultado apresentado aos 90 dias de cura, foi o do corpo de prova com 50% de adição de rejeito de carvão ao agregado miúdo.

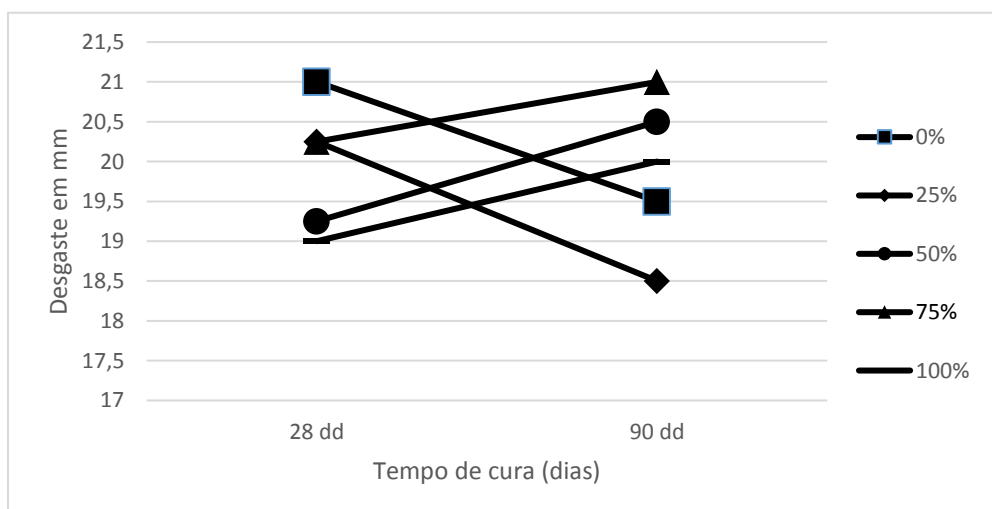
Tabela 15: Ensaio de Resistência à Abrasão

% de substituição	Tempo de cura		Unidade
	28 dias	90 dias	
0	21	19,5	mm
25	20,25	18,5	mm
50	19,25	20,5	mm
75	20,25	21	mm
100	19	20	mm

Fonte: Elaborado pelo pesquisador

A Figura 31 apresenta o gráfico sobre o ensaio de resistência a abrasão

Figura 31: Ensaio de Resistência à Abrasão



Fonte: Elaborado pelo autor

Esta também é uma análise onde quanto menor for o desgaste melhor o resultado apresentado pelo corpo de prova. Assim sendo, pode-se observar que aos 28 dias de cura, todos os corpos de prova apresentaram um resultado superior ao apresentado pelo corpo de prova padrão. Isso não se confirmou quando da análise com 90 dias de cura. Nesta ocasião somente o corpo de prova com 25% de substituição do agregado miúdo é que ficou superior ao corpo de prova padrão, porém, deve se registrar que as diferenças entre o padrão e os corpos de prova com agregado miúdo de rejeito de carvão na sua composição, apresentaram resultados muito próximos, da ordem máxima de 1,75mm.

4.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Este ensaio tem por função mostrar o quão compacto é o concreto. Esta característica está intimamente ligada com a qualidade do bloco de concreto produzido, uma vez que quanto mais compacto maior será sua resistência à quebra e ao desgaste por abrasão devido ao atrito dos pneus dos veículos que transitarem na via pública.

A média das amostras ensaiadas registradas na Tabela 16, podem ser melhor visualizadas na Figura 32. O resultado completo pode ser visualizado nos anexos C e D.

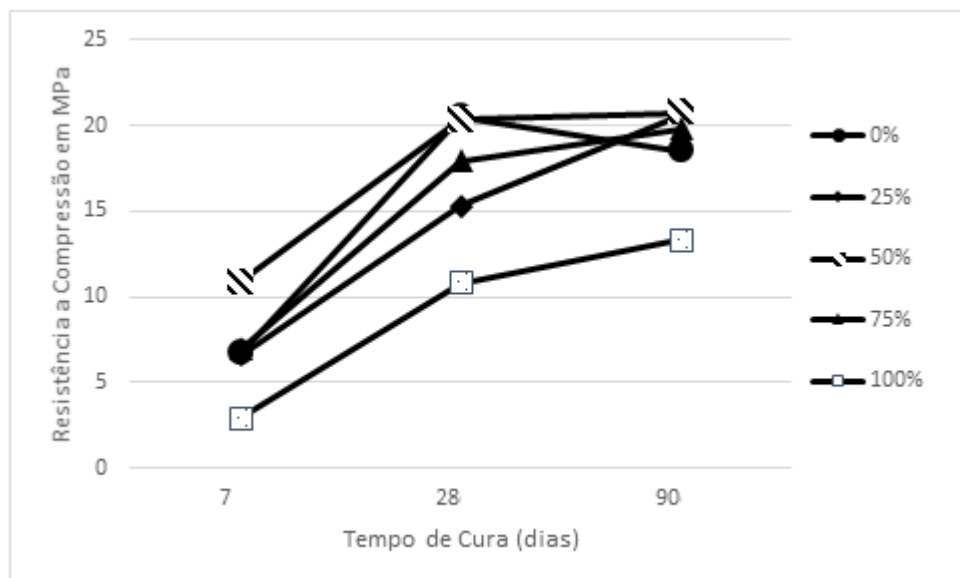
Tabela 16: Ensaio de Resistência à Compressão

% de substituição	Tempo de cura			
	28 dias	90 dias	Unidade	Unidade
0	20,5	18,5	MPa	MPa
25	15,3	20,6	MPa	MPa
50	19,8	20,7	MPa	MPa
75	17,9	19,8	MPa	MPa
100	10,5	13,3	MPa	MPa

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 32 apresenta o gráfico sobre o ensaio de resistência à compressão.

Figura 32: Resistência à Compressão



Fonte: Elaborado pelo autor

A norma NBR 9781 (ABNT, 2013) preconiza para o ensaio de resistência à compressão, que o bloco de concreto apresente uma resistência de 35MPa. Segundo Akasaki, Ino e Fioriti (2007) no seu trabalho com aproveitamento de rejeito de pneus na fabricação de blocos de concreto, o valor obtido para a resistência a compressão, ficou no melhor dos resultados, 8,69 MPa abaixo do exigido pela norma NBR 9781, situação semelhante ocorreu no estudo, Utilização de Escória Granulada de Fundação em Blocos de Concreto para pavimentação, realizado por Pagnussat (2004) onde o valor atingido no estudo também ficou abaixo dos 35 MPa que preconiza a norma. Em seu trabalho, Pavimento Intertravado: Uma reflexão sob a Ótica da Durabilidade e sustentabilidade, Godinho (2009) sugere que seja revista a norma NBR 9781, quanto a exigência de 35 MPa para todas as aplicações de blocos de concreto, uma vez que países, tais como Austrália e África do Sul, que tem maior experiência no uso de blocos de concreto para pavimentação, trabalham com valores na casa dos 25 MPa.

A análise da Figura 32, sugere que os corpos de prova em que tiveram adição de 50% de rejeito de carvão, seja uma promissora alternativa, uma vez que, apresentaram resultados superiores em todas as idades. Com relação ao desvio padrão, os blocos apresentaram o seguinte desempenho:

0% de adição de rejeito de carvão ficou em 0,21;

25% de adição de rejeito de carvão ficou em 2,97;

50% de adição de rejeito de carvão ficou em 1,69;

75% de adição de rejeito de carvão ficou em 0,71;
 100% de adição de rejeito de carvão ficou em 4,95.

Pode-se observar ainda que aos 90 dias de cura, somente o bloco produzido com agregado miúdo composto por 100% de rejeito de carvão, apresentou resistência à compressão menor que a apresentada pelo padrão.

Os resultados alcançados neste estudo seguiram a mesma linha dos anteriormente citados, ficando abaixo do estipulado pela norma brasileira, porém, deve-se ressaltar que os blocos utilizados como base de comparação, aqui denominados de bloco padrão, são aplicados nas vias públicas da cidade de Criciúma, sem que apresentem problemas nas suas estruturas, o que reforça a tese de Godinho (2009).

Observa-se também que a maior diferença, 9,7 MPa, entre o bloco padrão e o bloco com rejeito de carvão foi registrada para o percentual de 100% de rejeito de carvão aos 28 dias de cura.

4.6 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DA DAM

A DAM gerada pela exploração do carvão no sul de Santa Catarina, pode ser caracterizada pelo pH ácido e pela presença de metais como: Alumínio, Ferro, Manganês e Zinco.

Na Tabela 17 é apresentado o resultado obtido da análise de pH da areia e do rejeito de carvão que serão utilizados como agregado miúdo no concreto utilizado para produzir os blocos de concreto para pavimentação de via pública, que serviram de base para o estudo em questão.

Tabela 17: Análise de pH do agregado miúdo

Agregado miúdo	Antes da lixiviação	Depois da lixiviação	Unidade
Areia	3,7	4,7	pH
Rejeito de carvão	5,8	4,8	pH

Fonte: Elaborado pelo pesquisador

Tomando-se a Tabela 16 como base para as reflexões, percebe-se que o pH da areia antes da lixiviação, é menor do que aquele apresentado pelo rejeito de

carvão, porém, após a lixiviação, os dois materiais utilizados como agregado miúdo, apresentaram um pH ácido muito próximo um do outro. O fato de que a areia apresentar uma elevada quantidade de Ferro, pode ter contribuído para redução do pH.

Já a Tabela 18, apresenta quantidade dos metais Al, Mn, Fe e Zn identificados na areia e no rejeito de carvão.

Tabela 18: Metais detectados no agregado miúdo e no rejeito do carvão

Agregado miúdo	Depois da lixiviação			
	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)
Areia	N.D.	1,17	0,09	0,15
Rejeito de carvão	N.D.	0,67	0,54	0,04
CONAMA 430/2001	0,1	15,00	1,00	5,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Da análise da Tabela 18, é possível verificar que o metal com maior concentração é o ferro que está presente na amostra de areia. Todos os metais analisados estão dentro da tolerância da resolução do Conama 430.

Os dados obtidos do pH e dos metais Al, Fe, Mn e Zn servirão de base para as reflexões sobre o potencial de geração de drenagem ácida de mina, pelos blocos produzidos para este estudo.

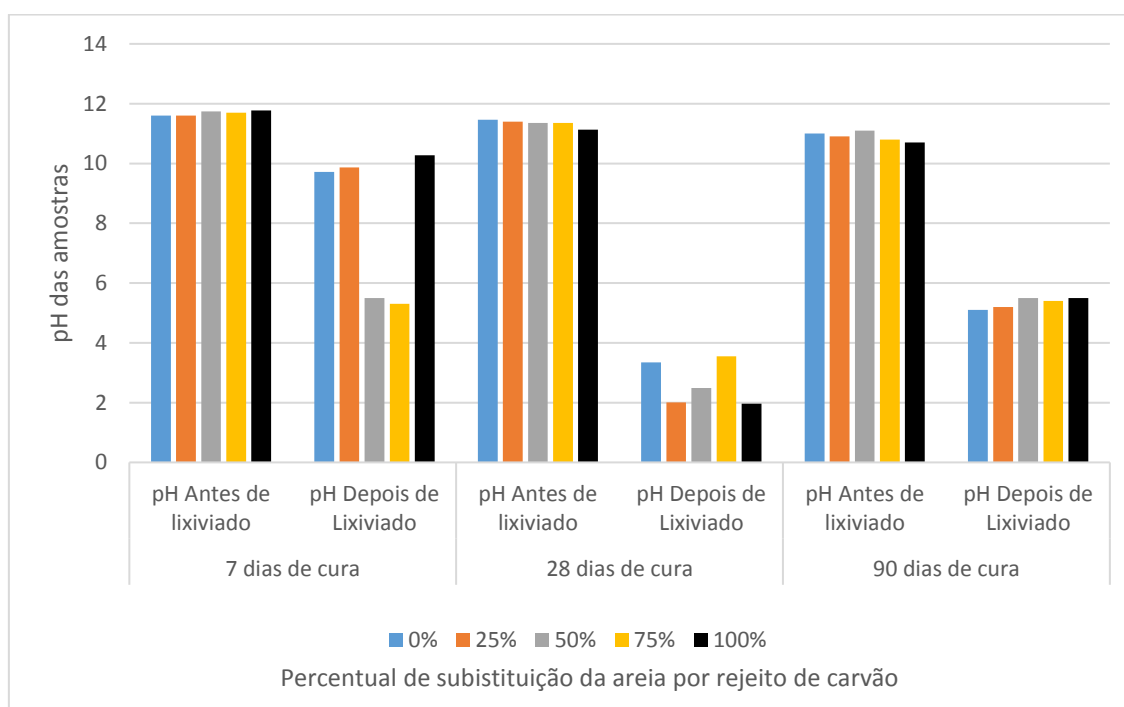
A Tabela 19 e a Figura 33, mostram os valores de pH obtidos nas análises efetuadas nos blocos nas diversas composições do agregado miúdo e tempo de cura.

Tabela 19: pH dos blocos em relação ao tempo de cura

% de Substituição	pH do bloco de concreto antes e depois de lixiviado					
	7 dias		28 dias		90 dias	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
0	11,60	9,72	11,46	3,34	11	5,1
25	11,60	9,87	11,4	2,01	10,9	5,2
50	11,74	5,50	11,36	2,49	11,1	5,5
75	11,70	5,30	11,36	3,55	10,8	5,4
100	11,77	10,27	11,13	1,96	10,7	5,5

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 33: Antes e depois da lixiviação

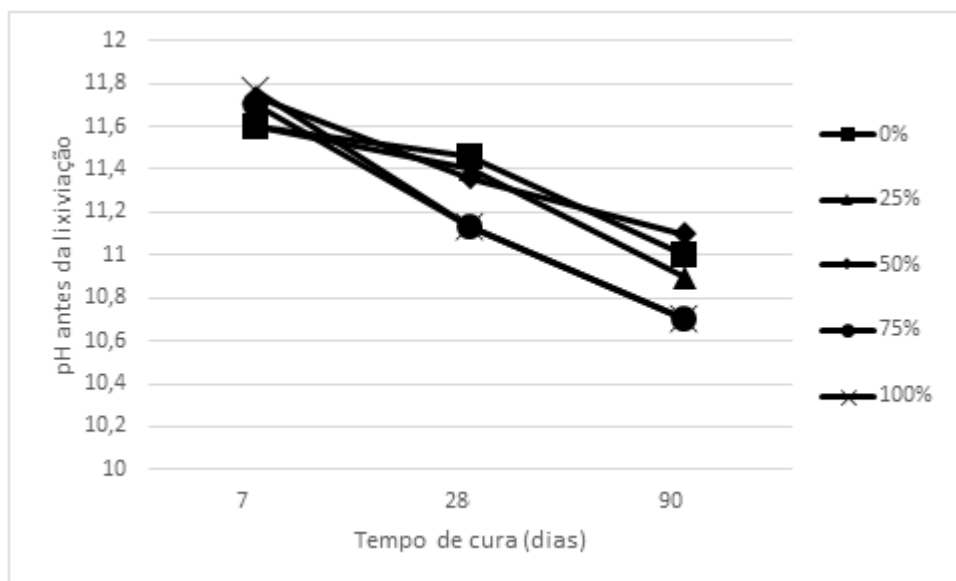


Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados da Tabela 19 quando disponibilizados na forma de gráfico, Figura 33 e 34, permite a observação de forma mais evidenciada do comportamento do pH dos blocos nos diversos percentuais de componentes do agregado miúdo e do tempo de cura dos blocos de concreto para a pavimentação de vias públicas. Assim, a Figura 33, antes da lixiviação, dá indícios de que o pH dos blocos apesar de apresentar uma

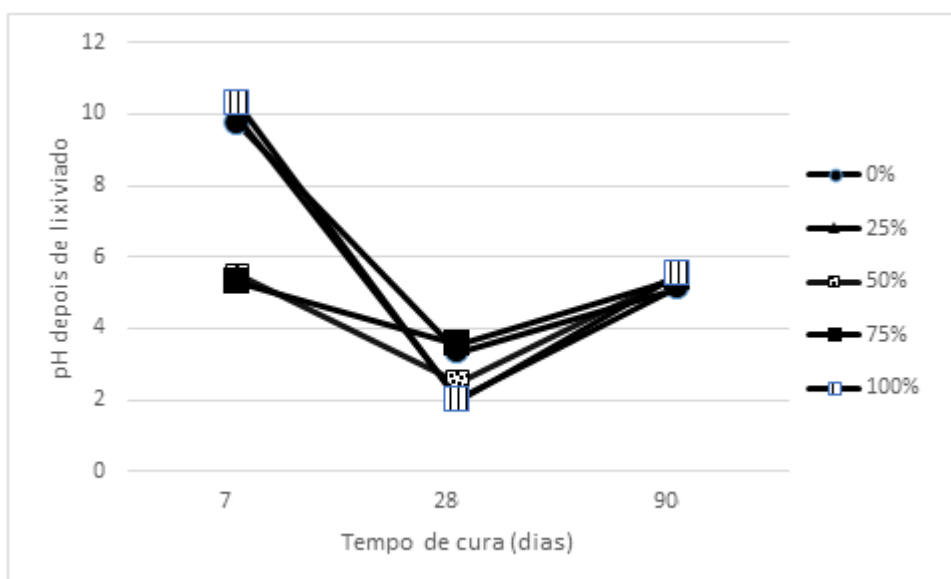
ligeira queda no valor nominal, está bem acima do pH 7, que é considerado neutro, sendo assim, não é favorável ao desenvolvimento de DAM. Porém, quando a análise recai sobre a Figura 34, o que pode ser observado é uma redução bastante acentuada dos valores do pH após a lixiviação.

Figura 34: Comportamento do pH, no tempo de cura, antes da lixiviação



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 35: Comportamento do pH, no tempo de cura, depois da lixiviação



Fonte: Elaborado pelo autor

Aos 90 dias de cura, os resultados apontam para uma condição de pH ácido, apesar de estar bastante próximo ao pH 7. Esta condição, se não é favorável a geração de DAM, também não é indício de que ela não possa ser gerada com o aumento do tempo de cura, uma vez que sugere uma tendência à neutralização, para todos os percentuais de adição de rejeito de carvão.

Com relação ao enxofre total, que é a soma dos enxofres pirítico, sulfático e orgânico presentes na amostra ensaiada, foram efetuadas duas análises, sendo uma com o rejeito de carvão, in natura, utilizado na produção dos corpos de prova e uma segunda com o bloco com 100% de rejeito de carvão na sua composição, quando este atingiu os 90 dias de cura. Para os dois casos, o material foi triturado, moído e homogeneizado, para posteriormente ser retirado uma amostra de 0,2g e queimada a 1.350° Celsius no analisador de enxofre, LECO SC 432. A amostra in natura de rejeito de carvão, apresentou um percentual de 4,63% de enxofre na amostra ensaiada. Já para a amostra obtida com o bloco de concreto com 100% de rejeito de carvão na sua composição, o resultado apresentado foi de 1,88% de enxofre na amostra ensaiada. Em função da redução do enxofre não foi realizado o ensaio nos blocos com percentuais de 25%, 50% e 75% de rejeito na composição do bloco.

A Tabela 20 apresenta os valores coletados das análises de detecção de metais presentes no líquido lixiviado dos blocos de concreto nos tempos de cura de 7, 28 e 90 dias. Estes dados foram a base para a preparação das Figuras 35, 36, 37 e 38, que apresentam as tendências dos metais alumínio, ferro, manganês e zinco. Estes metais estão associados à DAM gerada nas minas de carvão da região sul de Santa Catarina e conseqüentemente nos rejeitos produzidos por estas mineradoras.

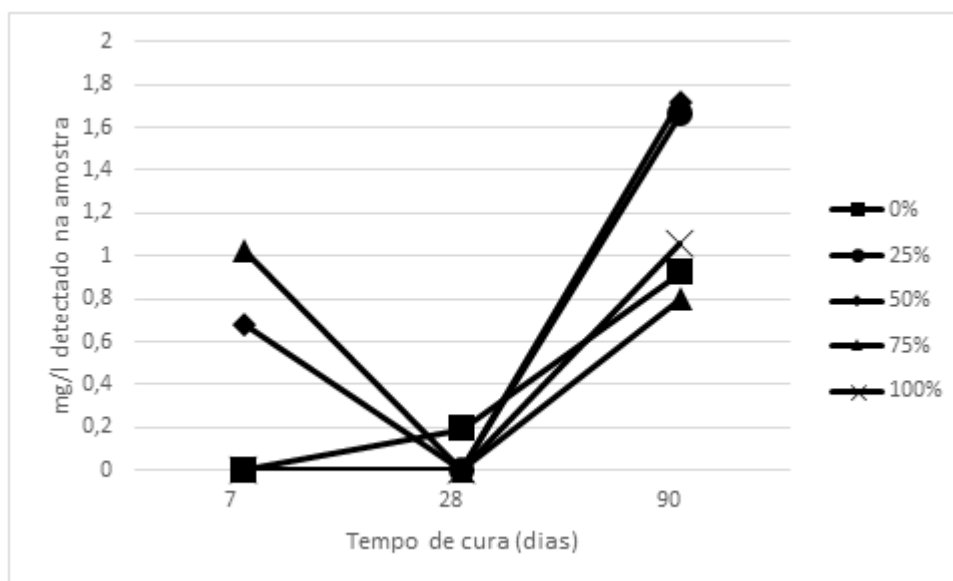
Tabela 20: Metais presentes nos blocos de concreto

% de Substituição	Presença de metais no bloco de concreto após a lixiviação (mg/l)											
	Alumínio			Ferro			Manganês			Zinco		
	7 dias	28 dias	90 dias	7 dias	28 dias	90 dias	7 dias	28 dias	90 dias	7 dias	28 dias	90 dias
0	N.D.*	0,19	0,92	0,01	0,26	0,30	N.D.*	0,16	0,12	N.D.*	0,16	0,18
25	N.D.*	N.D.*	1,66	N.D.*	0,23	0,44	N.D.*	0,34	0,43	N.D.*	0,16	0,13
50	0,68	N.D.*	1,72	0,34	0,14	0,33	2,14	0,63	0,61	0,31	0,12	0,16
75	1,03	N.D.*	0,80	0,74	0,43	0,33	3,00	0,59	0,89	0,38	0,13	0,14
100	N.D.*	N.D.*	1,06	N.D.*	0,12	0,32	N.D.*	1,08	0,88	N.D.*	0,11	0,23

Fonte: Elaborado pelo autor

*Não Detectado.

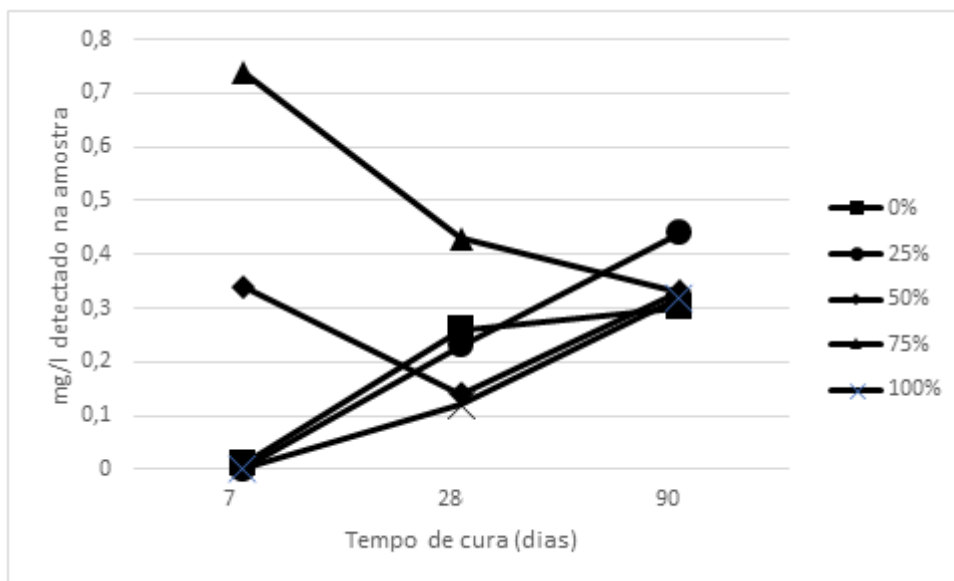
Figura 36: Alumínio



Fonte: Elaborado pelo autor

Da análise da Figura 36, pode-se observar que os blocos de concreto com 25% e 50% de rejeito de carvão, respectivamente, na constituição do agregado miúdo, apresentam a maior incidência de alumínio. Esta incidência tem seu ápice na análise feita aos 90 dias de cura. Aos 28 dias de cura este metal praticamente não foi detectado. Traçando um paralelo com a Figura 33, percebe-se que nesta data de maturação, o pH estava bastante ácido, o que pode ter mascarado os resultados.

Figura 37: Ferro

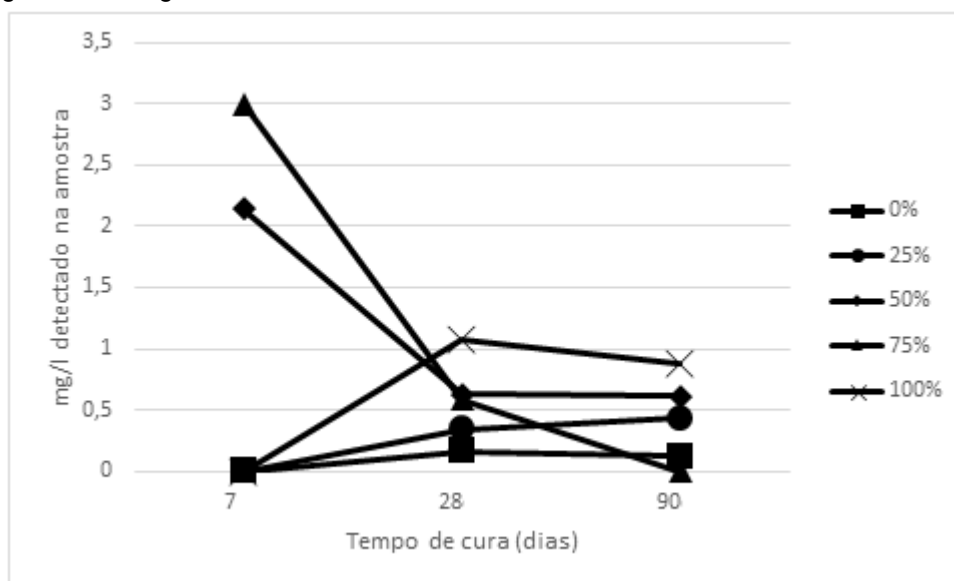


Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 37, o destaque se dá para a amostra com 75% de rejeito de carvão na composição do agregado miúdo, quando atinge seu ápice aos 7 dias de cura.

Percebe-se que aos 90 dias de cura, foi detectado níveis de ferro bastante próximos uns dos outros, onde somente a amostra de 25% de rejeito que ficou 0,11 mg/l acima dos demais percentuais de estudo.

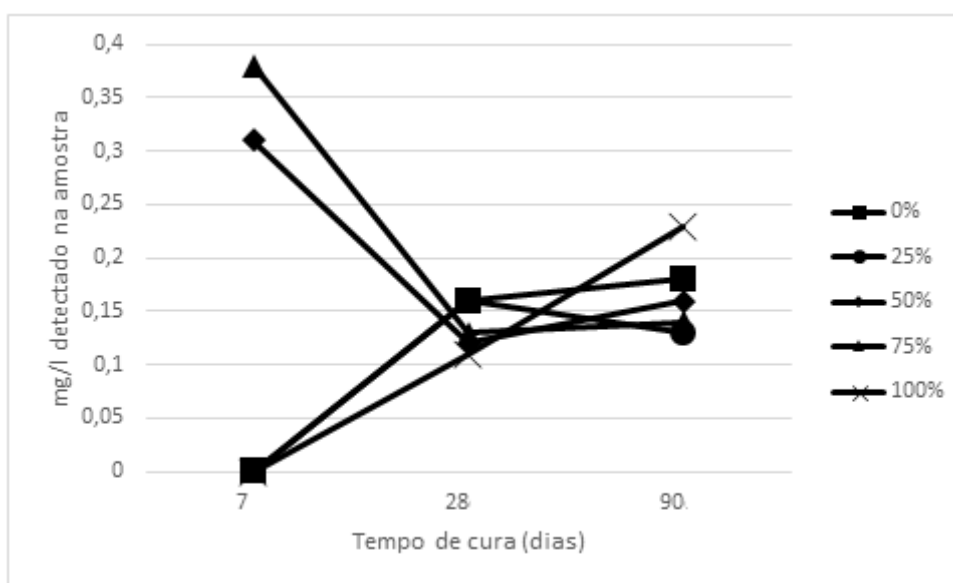
Figura 38: Manganês



Fonte: Elaborado pelo autor

O manganês (Figura 38) não foi identificado aos 7 dias de cura e nas outras duas análises, 28 e 90 dias, tem sua presença bastante discreta para a amostra padrão. O pico está registrado para a amostra com 75% de rejeito de carvão na composição do agregado miúdo e aos 7 dias de maturação. Aos 90 dias, não foi detectado a presença de manganês nesta amostra. Percebe-se pela avaliação da Figura 39, que aos 90 dias de cura praticamente não existe manganês nas amostras.

Figura 39: Zinco



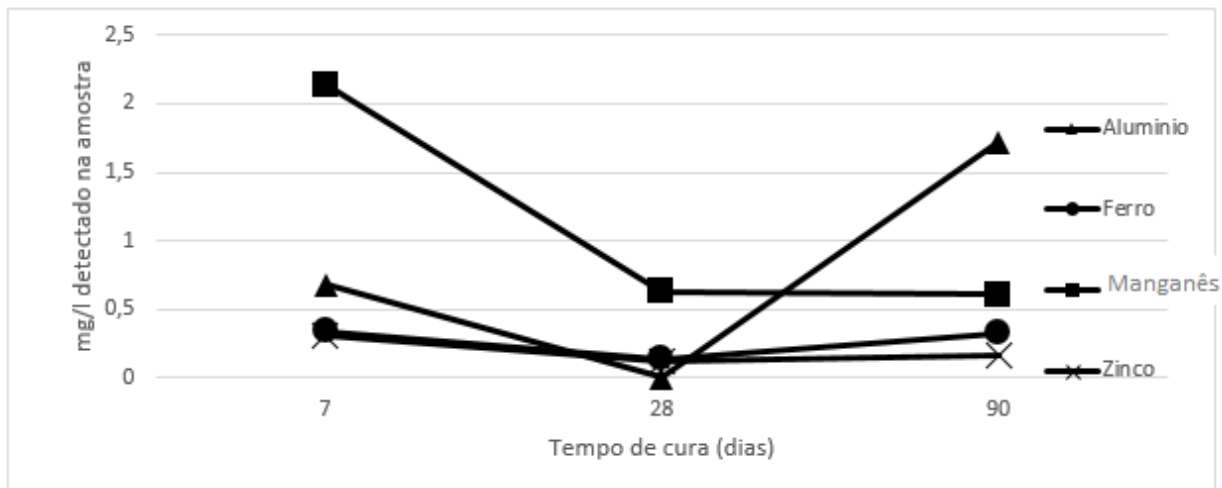
Fonte: Elaborado pelo autor

Na análise da Figura 39, percebe-se que a detecção do zinco apresenta um comportamento que tende a convergência em torno de um valor baixo e muito próximo de zero. Aos 7 dias de cura, as amostras com zero, 25 e 100% de rejeito de carvão, partiram de zero e cresceram em direção do ponto convergente, enquanto que para amostras com 50 e 75% de rejeito que partiram de um valor relativamente alto, decresceram em direção ao ponto de convergência aos 90 dias de cura.

Na figura 40, estão registrados os resultados encontrados para os metais alumínio, ferro, manganês e zinco nas maturidades de 7, 28 e 90 dias. Estes dados foram obtidos do corpo de prova com 50% de rejeito de carvão na composição do agregado miúdo.

Da avaliação da Figura 40, percebe-se que a tendência de queda observada aos 28 dias de cura, foi quebrada por todos os metais. O alumínio mostra uma tendência de crescimento mais acentuado que os demais metais.

Figura 40: Metais para o corpo de prova com 50% de adição de rejeito de carvão



Fonte: Elaborado pelo autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A possibilidade de utilização do rejeito de carvão na produção de blocos de concreto para pavimentação de vias públicas, é algo que vem de encontro com o que preconiza a metodologia de produção mais limpa (P+L). Esse fato também é relevante para os municípios produtores de carvão da região sul do Brasil, pois essa atividade econômica expressiva na balança comercial destes municípios onde as empresas extrativistas geram emprego e renda para a população local, contribuindo para o progresso das cidades, além de proporcionar caixa para as prefeituras oriundo dos impostos gerados pela atividade econômica.

Tomando-se como base os resultados apresentados e discutidos no capítulo 4 e considerando que o presente trabalho foi desenvolvido de maneira tal que alterasse o menos possível o processo de produção de blocos de concreto para pavimentação de vias públicas pela fábrica da cidade de Criciúma-SC, tem-se fortes indícios de que é possível a produção de blocos de concreto fazendo uso de rejeito de carvão, em substituição à areia, como agregado miúdo no concreto.

O trabalho mostrou que o processo de britagem a que deve ser submetido o rejeito de carvão, para adequação da granulometria, é bastante simples. O sistema deverá ser composto de um britador de mandíbulas e uma peneira vibratória com malha de 4,75mm. Apesar de simples é uma etapa que deve ser acrescentada ao processo de produção de blocos de concreto para pavimentação pública que não se faz necessário quando se usa como agregado miúdo a areia lavada, pois já se encontra na granulometria adequada.

Ainda com base nos resultados discutidos na seção 4, verifica-se que os percentuais de 25% e 50% de adição de rejeito de carvão apresentaram comportamento promissor, tecnicamente, para o emprego do rejeito de carvão na produção em escala comercial de blocos de concreto para revestimento de vias públicas.

Este fato é corroborado pelas propriedades (resistência à compressão, à abrasão e a Absorção de água) verificadas, uma vez que estão bastante próximas ao bloco sem adição de rejeito de carvão, aqui designado de bloco padrão.

Com relação a DAM, as análises projetam um pH com tendência a neutralidade, ou seja, tendendo a 7. As quantidades de metais encontradas nos blocos de concreto, sinalizam para uma aplicação sem agressão ao meio ambiente.

É relevante expressar aqui que toda a mão de obra utilizada para a produção dos blocos de concreto, é proveniente dos apenados, que cumprem pena em regime semiaberto, do presídio Santa Augusta, no município de Criciúma. Este fato, além de reduzir os custos de produção, proporciona ainda uma importante forma de ressocialização daqueles apenados que em estado prestes a sair do presídio por terem pago sua dívida com a sociedade, passam a ter uma esperança de dias melhores num futuro próximo, pois o trabalho lhes proporciona um elevado aumento da autoestima, além do sentimento de sentir-se útil à sociedade.

6 ESTUDOS FUTUROS

Em relação a trabalhos futuros, propõe-se:

Estudo da viabilidade econômica da produção de blocos de concreto com substituição da areia por rejeito de carvão na composição do agregado miúdo;

Estudo da viabilidade técnica e econômica na utilização do rejeito de carvão em substituição ao agregado graúdo na produção de blocos de concreto para pavimentação de vias públicas;

Produção de um trecho de via urbana controlada ao longo do tempo, para avaliação dos blocos de concreto produzidos com 25% e 50% do agregado miúdo natural substituído por rejeito de carvão;

Estudo do desgaste apresentado pelos blocos de concreto do trecho de via para estudo;

Estudo da geração de DAM em período prolongado no trecho de via para estudo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Aneel: Brasília, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7211. **Agregados para Concreto**: especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 9781. **Peças de concreto para pavimentação**: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

AKASAKI, J. L.; INO, A.; FIORITI, C. F. Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus. *Acta Scientiarum Technology*, Maringá, v. 32, n. 3, p. 237-244, 2010. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/viewFile/6013/6013>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

ALI, M. S . **Remediation of Acid Mine Waters**. Aachen, Germany, 2011. Disponível em:<https://www.imwa.info/docs/imwa_2011/IMWA2011_Ali_338.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

AMARAL FILHO, J. R. **Avaliação ambiental e do potencial de aproveitamento de um módulo de rejeitos de carvão na região carbonífera de Santa Catarina**. 2009. 79f. Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/18343> >. Acesso em: 10 de maio de 2015.

AMBONI, M. M.; ZANUZ, M.; GOMES, C. J. B. **Qualificação das áreas mineiradas em subsolo pela mineração de carvão no município de Criciúma – Santa Catarina**. Cidade: Satc, 2010.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington, D.C: APHA, 2012.

ARAÚJO, A. C. **Introdução ao tratamento de minérios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. p.11-16.

ARAUJO, P. R. d.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos impermeáveis na redução do escoamento superficial**. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 3, jul./set. 2000, p. 21-29. Disponível em: < <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/01/avaliacao-da-eficiencia-dos-pavimentos-na-reducao-de-escoamento-superficial.pdf>>. Acesso em: 2 de maio de 2015.

BELOLLI, M.; QUADROS, J.; GUIDI, A. **História do Carvão de Santa Catarina**. Criciúma: Imprensa Oficial do Estado de Santa Catarina, 2002.

BIAN, Z.; INYANG, H.; DANIELS, J.; OTTO, F. Struthers, S. Environmental issues from coal mining and their solutions. **Mining Science and Technology**, China, v. 20, n. 2, 2010, p. 215–223.

BICCA, I. S. **Estudo da viabilidade de utilização do rejeito cerâmico, como agregado graúdo, na produção de concreto com características estruturais**. 2000. 98f. Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000 Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3361?locale=pt_BR>. Acesso em: 2 de maio de 2015.

BORNA, L. de S.; SOARES, P. S. M. **Drenagem ácida e gestão de resíduos sólidos de mineração**. CETEM: Rio de Janeiro, 2002.

Buzzi, C. D. **Aplicação da eletrodialise no tratamento da drenagem ácida de minas visando a recuperação de ácido sulfúrico**. 2012. 137f. Tese. (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-19072013-111743/pt-br.php>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

CAMPANER, V. P.; SILVA, W. L. Processos físicoquímicos em drenagem ácida de mina em mineração de carvão no sul do Brasil. *Química Nova*, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 146-152, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000100028>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

CEBECI, Y. A. Using float-sink data in simple equations to predict sulfur contents. **Fuel Processing Technology**, v. 76, p 231-239, 2002.

CHAVES, A. **Estrutura e comportamento do carvão**. Dissertação - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1972.

CHERIAF, M. *et al.* Reaproveitamento dos resíduos do carvão. In: TEIXEIRA, Elba Calesso. **Meio ambiente e carvão: impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre: FEPAM, 2002. 497 p. (Cadernos de Planejamento e gestão ambiental ; 2).

CHIKKATURA, A. P.; Sagarb, A. D.; Sankar, T. L. Sustainable development of the Indian coal sector. **Energy**, v. 34, n. 8, p. 942–953, 2009.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/res43011.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

COSTA, C. E. Incorporação de rejeitos na indústria cerâmica: qualidade na construção. **SindusCon**, São Paulo, n. 12, v. 2, p. 44-46, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Balanço Mineral Brasileiro**. DNPN:Brasília, 2001.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Nacional de Energia 2030**. Rio de Janeiro: Editra, 2007.

EVANGELOU, V. **Pyrite Oxidation and Its Control**: Solution Chemistry, Surface Chemistry, Acid Mine Drainage (AMD), Molecular Oxidation Mechanisms, Microbial Role, Kinetics, Control, Ameliorates and Limitations, Microencapsulation. New York, USA: Editorial Press CRC, 1995.

FABRO, F.; GAVA, G. P.; GRIGOLI, H. B.; MENEGHETTI, L. C. **Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto**. São Paulo: IBRACON, 2011.

FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. Agregados para a construção civil. In: ISAIA, G.C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007.

FENDRICH, R. **Manual de Utilização das Águas Pluviais**:100 Maneiras Práticas. Curitiba: Livraria do Chain, 2009.

FRASSON JUNIOR, A. **Proposta de Metodologia de Dosagem e Controle do Processo Produtivo de Blocos de Concreto para Alvenaria Estrutural**. 2000. 162f. Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Civil) Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <file:///C:/Users/Vania/Desktop/171042.pdf>. Acesso em: 2 de maio de 2015.

FUNGARO, D.; IZIDORO, J. Remediação de Drenagem Ácida de Mina Usando Zeólitas Sintetizadas a Partir de Cinzas Leves de Carvão. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 735-740, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422006000400019>. Acesso em: 2 de maio de 2015.

GAIVIZZO, Larisa Ho Bech et al. Potencial poluidor de rejeitos carboníferos: II – efeitos da recuperação com camadas de solo sobre as plantas e a população microbiana. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v32n6/12739.pdf>>. Acesso em: 15 Mar 2016.

GIURCO, D. et. al. Mining and sustainability: asking the right questions. **Minerals Engineering**, v. 29, p. 3–12, 2012.

GODINHO., D. P. **Pavimento intertravado**: Uma reflexão Sob a Ótica da Durabilidade e Sustentabilidade.2009. 158f. Mestrado (Pós-Graduação em Ambiente Contruido) Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em:

<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MMMD-8PDDFFY/disserta__o_dalter.pdf?sequence=1>. Acesso em:

GOULARTI FILHO, A. **Memória e cultura do carvão em Santa Catarina**. Florianópolis: Cidade Futura, 2004.

HEWLETT, P. **Lea's Chemistry of Cement and Concrete**. Butterworth-Heinemann: Elsevier, 2003.

HUERGO, M. C. **Avaliação das condições de impermeabilização urbana: estudo de caso no Bairro Centro Cívico – Curitiba – Paraná**. 2012. 121f. Mestrado (Mestrado em Construção Civil) Departamento de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <<http://www.prppg.ufpr.br/ppgecc/wp-content/uploads/2016/files/dissertacoes/d0165.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

INSTITUTO DOS AUDITORES INDEPENDENTES DO BRASIL - IBRACON. **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IPSIS Gráfica e Editora, 2011.

INSTITUTE WORLD COAL. **The Coal Resorce: A Comprehensive Overview of Coal**. Disponivele em: <https://www.worldcoal.org/sites/default/files/resources_files/coal_resource_overview_of_coal_report%2803_06_2009%29.pdf >. Acesso em: 25 de maio de 2015.

KONTOPOULOS, A. Acid Mine Drainage Control. In: CASTRO, S. H.; VERGARA, F. SÁNCHEZ, M. A. **Effluent Treatment in the Mining Industry**. University of Concepción: Edmundo Larenas, 1998, pp. 57-118.

LIN, S. L.; CROSS, W. H.; CHIAN, E. S.; LAI, J. S.; GIABBAI, M.; HUNG, C. H. Stabilization and solidification of lead in contaminated soils. **Journal of Hazardous Materials**, v. 48, n. 1–3, p. 95-110, 1996.

McALLISTER, M.; MILIOLI, G. Mining sustainably: opportunities for Canada and Brazil. **Mineral & Energy**, v. 15, n. 2, p. 3-14, 2000.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

NASCIMENTO, F. M. F.; MENDONÇA, R. M. G.; MACÊDO, M. I. F.; SOARES, P. S. M. Impactos Ambientais nos Recursos Hídricos da Exploração V Semana de Ciência & Tecnologia da UNESC 2014 184 de Carvão em Santa Catarina. CONGRESSO BRASILEIRO DE MINA A CÉU ABERTO & II CONGRESSO BRASILEIRO DE MINA SUBTERRÂNEA, 2., 2002 – Belo Horizonte, Anais.

NASPOLINI FILHO, A. **Criciúma, orgulho de cidade! Criciúma**. Criciúma: Editora do Autor, 2000.

PAGNUSSAT, D. T. **Utilização de escória granulada de fundição (EGF) em blocos de concreto para pavimentação**. 2000, 148 f. Mestrado (Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5945>>. Acesso em: 2 de maio de 2015.

PHILOMENA, G., L de B., FOLLMANN, J., I.; GONÇALVES, T. M. Aspectos da cultura do carvão em Criciúma (SC): a história que não se conta. **História Unisinos**, v.16, n. 2. p. 244-255, Maio/Agosto 2012. Disponível em: <<file:///C:/Users/vania.urbanski/Downloads/2056-9903-1-PB.pdf>>. Acesso em: 15 de maio de 2015.

PINHEIRO, W. G.. Planos Energéticos e Plano Nacional Mineral 2030: Uma Revisão da Importância do carvão para o Desenvolvimento da Região Sul de Santa Catarina. 2012. Dissertação (Pós-Graduação em Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul de Santa Catarina, Criciúma. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/1455>>. Acesso em: 5 de maio de 2015.

POON, C. S.; CLARCK, A. I.; PERRY, R. Permeability Study on the Cement Based Solidification for the Disposal of Hazardous Wastes. **Cement and Concrete Research**, v. 16, p. 161-172, 1986.

PORTAL DO CONCRETO. **Tudo sobre concreto**. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

PORTAL DA AÇÃO CIVIL PÚBLICA DO CARVÃO. Disponível em: <https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo_portal/conteudo.php?cat=35> . Acesso em: 20 de janeiro de 2015.

REDIVO, R. V. **Caracterização Tecnológica do carvão das Camadas barro Branco e Bonito para fins Energéticos na Região de Criciúma – SC**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

RITCEY, G. Tailings management: problems and solutions in the mining industry. Process Metallurgy. Hardcover: Elsevier, 1989.

ROCHA, J. F.; SCORZA, E. P. **Estratigrafia do carvão em Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1940.

RUBIO, J. **Carvão Mineral Caracterização e Beneficiamento**. v 1. Porto Alegre: Nova Linha Artes Gráficas, 1988. 240p.

SAMPAIO, C. H. **Caracterização para o beneficiamento do carvão de Candiota**. 1983. 203f. Dissertação – (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica) Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1983. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5234>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

SANTOS, C. R.; SANTOS, C. R. **Estudo da utilização de rejeito de carvão na fabricação de blocos de concreto para pavimentação em substituição ao agregado miúdo natural**. 2012. 161f. Mestrado (Programa de Pós-Graduação em

Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/75760>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

SCHNEIDER, C. H. **Caracterização do Impacto Ambiental e Tratamento da Drenagem Ácida de Minas com Resíduos Alcalinos na Mineração de Carvão de Santa Catarina**: Mina Um Il Verdinho, Criciúma. 2006. 133f. Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/12556?locale=pt_BR>. Acesso em: 2 de maio de 2015.

SCHNEIDER, C. L. **Caracterização do beneficiamento de carvão por jigagem no Brasil**. 1987. 142f. Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais).. Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/2419?locale=pt_BR>. Acesso em: 2 de maio de 2015.

SI, H.; BI, H.; LIB, X.; YANG, C. Environmental evaluation for sustainable development of coal mining in Qijiang, Western China. **International Journal of Coal Geology**, v. 81, n.. 3, p. 163–168, 2009.

SIESESC –Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina. **Dados estatísticos**. 2014. Disponível em: <http://www.siecesc.com.br/pdf/dados_estatisticos_ano_2014.pdf>. Acesso em: 3 de maio de 2015.

SMINKA, D.; HEYNEN, J. J. Reuse of abandoned coal mining waste deposits for the production of construction materials: a case of innovative tendering. **Waste Management Series**, v. 1, p. 814–824, 2000.

SOARES, P. S.; POSSA, M.; SANTOS, M. **Carvão Brasileiro**: Tecnologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: CETEM, 2008.

STUMM, W.; MORGAN, J. **Aquatic Chemistry**: Equilibria and Rates in Natural Waters . New York, USA: Willey-Interscience, 1996.

TAVARES, L. M. **Beneficiamento Gravimétrico**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 601p.

TONIOLO J. C., CARNEIRO, C. D. R. Processos Geológicos de Fixação do carbono na Terra e aquecimento Global. *Terra e Didática*, v. 6, n. 1, p.31-56, 2010. Disponível em: < <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/terraedidatica/article/view/1053/522>>. Acesso em: 2 de maio de 2015.

BRUM VAZ, P. A. **Reparação do dano ambiental** – caso concreto: mineração em Santa Catarina e o meio ambiente. Seminário de Direito Ambiental, Centro de Estudos Judiciários - CEJ, v. 5, n. 22, p. 41-48, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000161&pid=S1414-753X201400020001000012&lng=pt>. Acesso em: 2 de maio de 2015.

VETORETTI, A. **História de Tubarão**: das origens ao século XX. Tubarão: Pmt, 1992.

VENTURI, L. Elementi di tecnologia dell' architettura: Il calcestruzzo. 2008. Disponível em: < <http://www.iuav.it/Ateneo1/docenti/architettura/docenti-st/Aldo-Norsa/materiali-calcestruzzo-1.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

VIGÂNCIO, E. M. Produção de sulfato ferroso a partir de rejeitos de carvão. 2009. 70f. Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/17886>>. Acesso em: 2 de maio de 2015.

WEI, X.; VIADEIRO Jr., R.; BHOJAPPA, S. (2008). Phosphorus removal by acid mine drainage sludge from secondary effluents of municipal wastewater treatment plants. *Water Research*, v. 42, n. 13, p. 3.275-3.284, jul. 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135408001474>>. Acesso em: 2 de maio de 2015.

ZUMBLICK, W. **Teresa Cristina, a Ferrovia do carvão**. Florianópolis: Imprimax, 1987.

ANEXO A - RESISTÊNCIA À ABRASÃO AOS 28 DIAS DE CURA

SENAIsc
CRICIÚMA/CTCmat

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 524/14 17/07/2014

Identificação do Cliente/Solicitante:

Página 1 de 1

Nome: Roberto Bortolotto
Endereço: Rua Iupicino Rodrigues, 645
Cidade: Criciúma

UF: SC

Informações da Amostra:

Identificação da Amostra: Lajotas
Amostra: Produto acabado
Quantidade de Amostra: 15 corpos de prova
Forma da amostra: Corpo de Prova

Tipo de Amostra: Lajota sextavada
Data do recebimento: 22/01/14
Data de fabricação: Não declarado

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À ABRASÃO
ENSAIO REALIZADO SEGUNDO NBR 9781:2013 - Anexo C

RESULTADOS:

CP	Valores da cavidade (mm)
1	---
2	21
3	20
4	20,5
5	19,5
6	19
7	21
8	19,5
9	19
10	19
Média	20

Observações: CP1 e 2 = 0%, CP 3 e 4 = 25%, CP5 e 6 = 50%, CP 7 e 8 = 75%, CP 9 e 10 = 100%

Priscila B.P. De Faveri
Priscila Benedet Perucchi De Faveri
Técnico de Laboratório

Aurea S. W. Werncke
Aurea Stela Wessling Werncke
Coordenadora LDCM
CRQ 13400213

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE: Os resultados tem significação restrita, aplicando-se tão somente à amostra ensaiada. / Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem e identificação da amostra a menos que esta tenha sido efetuada mediante supervisão do CTCmat/LDCM. Salvo menção expressa, as amostras foram selecionadas pelo solicitante. / A reprodução deste relatório só será autorizada na forma de uma reprodução integral. / O CTCmat não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidos no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas ao estudo. / Os resultados que são obtidos através de cálculos matemáticos são apresentados com valores arredondados.

Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM
SENAIsc/CTCmat - Centro de Tecnologia em Materiais
Rua General Lauro Sodré, 300 - Bairro Comerciário - Cx. Postal 3247 - CEP 88802-330 - Criciúma - SC
Tel.: (48) 3431-7100 - Fax: (48) 3431-7139 - criciuma@sc.senai.br - www.sc.senai.br

ANEXO B - RESISTÊNCIA À ABRASÃO AOS 90 DIAS DE CURA

SENAI_{SC}
CRICIÚMA/CTCmat

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 1880/14 17/07/2014

Identificação do Cliente/Solicitante:

Página 1 de 1

Nome: Roberto Bortolotto
Endereço: Rua Lupicínio Rodrigues, 645
Cidade: Criciúma

UF: SC

Informações da Amostra:

Identificação da Amostra: Lajotas
Amostra: Produto acabado
Quantidade de Amostra: 15 corpos de prova
Forma da amostra: Corpo de Prova

Tipo de Amostra: Lajota sextavada
Data do recebimento: 22/01/14
Data de fabricação: Não declarado

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À ABRASÃO
ENSAIO REALIZADO SEGUNDO NBR 9781:2013 - Anexo C

RESULTADOS:

CP	Valores da cavidade (mm)
1	19,5
2	18,5
3	20,5
4	21
5	20
Média	20

Observações: CP1 = 0%, CP 2 = 25%, CP3 = 50%, CP 4 = 75%, CP 5 = 100%

Priscila B. P. De Faveri
Priscila Benedet Perucchi De Faveri
Técnico de Laboratório

Aurea Stela Wessling Werncke
Aurea Stela Wessling Werncke
Coordenadora LDCM
CRQ 13400213

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE: Os resultados tem significação restrita, aplicando-se tão somente à amostra ensaiada. / Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem e identificação da amostra a menos que esta tenha sido efetuada mediante supervisão do CTCmat/LDCM. Salvo menção expressa, as amostras foram selecionadas pelo solicitante. / A reprodução deste relatório só será autorizada na forma de uma reprodução integral. / O CTCmat não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidos no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas ao estudo. / Os resultados que são obtidos através de cálculos matemáticos são apresentados com valores arredondados.

Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM
SENAIsc/CTCmat - Centro de Tecnologia em Materiais
Rua General Lauro Sodré, 300 - Bairro Comerciário - Cx. Postal 3247 - CEP 88802-330 - Criciúma - SC
Tel.: (48) 3431-7100 - Fax: (48) 3431-7139 - criciuma@sc.senai.br - www.sc.senai.br

ANEXO C - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS DE CURA



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 202/14 5/2/2014 Página 1 de 1

Identificação do Cliente/Solicitante:

Nome: Roberto Bortolotto
 Endereço: Rua Lupicínio Rodrigues, 645
 Cidade: Criciúma UF: SC CEP: 88804-531

Informações da Amostra:

Identificação da Amostra: Lajotas
 Amostra: Produto Acabado
 Quantidade de Amostra: 15 Corpos de Prova
 Forma da amostra: Acabado
 Classe: Não declarado
 Amostragem realizada pelo: Solicitante

Tipo de Amostra: Lajota Sextavada
 Data do recebimento: 08/01/14
 Data de fabricação: Não declarado
 Idade dos corpos de prova: Não declarado

**DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE
 PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO**
 Ensaio realizado conforme norma NBR 9781:2013

Resultados

Ensaio realizado em: 21/1/2014

CP	Carga de Ruptura [N]	Resistência à Compressão [MPa]
Padrão	114925	20,3
Padrão	116917	20,6
25%	132351	23,3
25%	108501	19,1
50%	105324	18,6
50%	119178	21,0
75%	104176	18,4
75%	98577	17,4
100%	79482	14,0
100%	42639	7,5

Área de Carregamento: 5674,50 mm²
 Fator multiplicativo "p": 1,00

Observação: Cliente solicitou apenas ensaio de resistência à compressão.

Jaime de Oliveira Filho
 Técnico de Laboratório

Aurea Stela Wessling Werncke
 Coordenadora LDCM
 CRQ 13400213

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE: Os resultados tem significação restrita, aplicando-se tão somente à amostra ensalada. / Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem e identificação da amostra a menos que esta tenha sido efetuada mediante supervisão do CTCmat/LDCM. Salvo menção expressa, as amostras foram selecionadas pelo solicitante. / A reprodução deste relatório só será autorizada na forma de uma reprodução integral. / O CTCmat não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidos no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas ao estudo. / Os resultados que são obtidos através de cálculos matemáticos são apresentados com valores arredondados.

ANEXO D - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 90 DIAS DE CURA



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 1579/14 4/4/2014 Página 1 de 1

Identificação do Cliente/Solicitante:

Nome: Roberto Bortolotto
 Endereço: Rua Jupicínio Rodrigues, 645
 Cidade: Criciúma UF: SC CEP: 88604-531

Informações da Amostra:

Identificação da Amostra: Lajotas
 Amostra: Produto Acabado Tipo de Amostra: Lajota Sextavada
 Quantidade de Amostra: 5 Corpos de Prova Data do recebimento: 08/01/14
 Forma da amostra: Acabado Data de fabricação: Não declarado
 Classe: Não declarado Idade dos corpos de prova: Não declarado
 Amostragem realizada pelo: Solicitante

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

Ensaio realizado conforme norma NBR 9781:2013

Resultados

Ensaio realizado em: 4/4/2014

CP	Carga de Ruptura [N]	Resistência à Compressão [MPa]
Padrão	105234	18,5
25%	106648	20,6
50%	117707	20,7
75%	112287	19,8
100%	75355	13,3

Área de Carregemento: 5674,50 mm²
 Fator multiplicativo "p": 1,00

Observação: Cliente solicitou apenas ensaio de resistência à compressão.


 Jaime de Oliveira Filho
 Técnico de Laboratório


 Auzen Stela Wessling Wernicke
 Coordenadora LIDCM
 CRQ 13400213

CLAUSULAS DE RESPONSABILIDADE: Os resultados têm validade apenas para o ensaio realizado no momento da amostra encoberta. Não se admite qualquer responsabilidade referente à validade da amostragem e identificação da amostra a menos que esta tenha sido efetuada mediante assinatura ou rubrica do LIDCM. Se não houver expressa identificação das amostras feitas e colocadas pelo solicitante, a responsabilidade neste relatório será atribuída ao nome da empresa responsável pelo ensaio. O LIDCM não se torna responsável pelo uso que o usuário, entre outros, possa fazer dos dados ou indicações contidas no presente relatório, em prejuízo ou benefício das empresas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas ao ensaio. Os resultados que são obtidos através de cálculos matemáticos são apresentados com valores arredondados.