

Monografia

"APROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇUCAR COMO BIOMASSA E SUA CINZA COMO AGREGADO MIÚDO EM CONCRETO"

Autor: Evando de Lacerda

Orientador: Prof. Dr. Aldo Giuntini de Magalhães

Dezembro/2013

EVANDO DE LACERDA

**"APROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇUCAR
COMO BIOMASSA E SUA CINZA COMO AGREGADO
MIÚDO EM CONCRETO"**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil
da Escola de Engenharia UFMG

Ênfase: Gestão e Tecnologia na Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Aldo Giuntini de Magalhães

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2013

L131a Lacerda, Evando de.
Aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar como biomassa e sua cinza como agregado miúdo em concreto [manuscrito] / Evando de Lacerda. – 2013.
88 f., enc.: il.

Orientador: Aldo Giuntini de Magalhães.

“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia de UFMG”

Bibliografia: f.82-88.

1. Construção civil. 2. Bagaço de cana. 3. Energia. 4. Biomassa. 5. Resíduos. I. Magalhães, Aldo Giuntini de. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 691

Eu dedico esse trabalho aos meus pais e todas as pessoas que passaram por mim durante minha vida, que contribuíram direta ou indiretamente, para meu crescimento e para formação da pessoa que sou hoje. A vida é uma escola, e por mais tempo que passamos por este mundo, nunca aprenderemos tudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre comigo abrindo as portas e me guiando em todas as decisões da minha vida;

Aos meus pais, que não estão mais neste mundo, mas sempre acreditaram e confiaram em mim, sempre dividiram o pouco que tinham e mesmo antes de partir, me deram palavras de apoio sobre a vida;

Aos meus irmãos, que também estão juntos nesta caminhada para alcançar uma vida melhor;

A minha namorada, que teve paciência e soube entender a minha ausência em alguns momentos importantes, para que esse trabalho fosse possível;

Ao meu orientador, professor Aldo Giuntini de Magalhães, por sua competência, incentivo e presença durante a execução do trabalho;

A todos os professores do Curso de Especialização do Departamento de Materiais da UFMG, pelos conhecimentos compartilhados.

SUMÁRIO

RESUMO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 Bagaço da cana-de-açúcar e Biomassa.....	17
3.1.1 Cadeia industrial sucroalcooleira	20
3.1.1.1 Cogeração de energia.....	23
3.1.2 Produção do bioetanol.....	25
3.1.2.1 Etapas da produção.....	28
3.1.2.2 Resíduos do processo.....	32
3.1.3 Energia renovável e não renovável	34
3.2 Concreto.....	38
3.2.1 Cimento.....	41
3.2.2 Agregado.....	44
3.2.3 Água.....	46
3.2.4 Extração da areia e impactos ambientais.....	50
3.2.5 Adições minerais para o concreto.....	53
3.2.5.1 Adições pozolânicas.....	56
3.2.5.2 Material cimentante.....	60
3.2.5.3 Fíler.....	60

3.3 Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar (CBCA)	62
3.3.1 Produção de cinza do bagaço de cana-de-açúcar.....	62
3.3.2 Características das cinzas.....	64
3.3.3 Queima e moagem da cinza	67
4. COMPARAÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO APRESENTADOS.....	70
4.1 Estudos do 1º caso	70
4.1.1 Substituição da areia pela CBCA em argamassa.....	70
4.1.2 Resultados do 1º caso.....	72
4.2 Estudos do 2º caso.....	73
4.2.1 Substituição da areia pela CBCA em concreto.....	73
4.2.2 Resultados do 2º caso.....	74
4.3 Estudos do 3º caso.....	76
4.3.1 Substituição da areia pela CBCA em blocos vazados de concreto..	76
4.3.2 Resultados do 3º caso.....	78
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Cogeração de energia produzida pela queima do bagaço da cana-de-açúcar. (açúccarguarani.com.br, 2013).....	24
Figura 3.2 – Área disponível para a ampliação da agricultura (adaptado de ÚNICA, 2004).....	27
Figura 3.3 – Produção de uma usina sucroalcooleira. (Revista Galileu, 2013).....	28
Figura 3.4 – Colheita mecanizada da cana-de-açúcar. (Ageitec, 2013).....	29
Figura 3.5 – Transporte da cana-de-açúcar para usina. (Ageitec, 2013).....	29
Figura 3.6 – Lavagem da cana para retirada de impurezas. (Ageitec, 2013).....	30
Figura 3.7 – Triturador para retirada do melado. (Ageitec, 2013).....	31
Figura 3.8 - Subprodutos da agroindústria canavieira e seus respectivos usos alternativos (adaptado de CORTEZ <i>et al.</i> , 1992).....	33
Figura 3.9 – Repartição da oferta interna de energia (BEN, 2012).....	35

Figura 3.10 - Bagaço de cana-de-açúcar como exemplo de biomassa (MSPA, 2013).....	36
Figura 3.11 – Concreto composto por cimento, areia, brita e água (Bastos, 2006).....	39
Figura 3.12 – Cimento; Clínquer; Pasta de cimento e água; e Argamassa de areia, cimento e água (Bastos, 2006).....	42
Figura 3.13 – Agregado graúdo (brita) e agregado miúdo (areia) (Fonseca, 2010).....	45
Figura 3.14 – Consistência do concreto através do “slump-test” (Disponível em http://engdofuturo.com.br , acesso em 10 dez. 2013).....	47
Figura 3.15 – Extração de areia nos rios. (Disponível em FOLHAWEB, 2011).....	51
Figura 3.16 - Esquemas bidimensionais para a estrutura do (a) dióxido de silício cristalino e do (b) dióxido de silício não cristalino (CALLISTER, 2006).....	59
Figura 3.17 - Fluxograma simplificado da produção de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) (FLÁVIA, 2010).....	62
Figura 3.18 - Mapa da distribuição da cana-de-açúcar no Brasil. (UNICA, 2009).....	64

Figura 3.19 - Morfologia das partículas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CORDEIRO, G. C., 2006). Cinza apresenta estrutura bastante porosa e contaminada com a presença de quartzo.....	66
Figura 3.20 – Aspecto da cinza antes de moída. Fonte: (SALES <i>et al.</i> , 2011).....	69
Figura 3.21 – Aspecto da cinza depois de moída. Fonte: (SALES <i>et al.</i> , 2011)..	69
Figura 4.1 – Resistência a compressão dos corpos de prova aos 7,14 e 28 dias com a substituição da areia pela CBCA nas percentagens 0%, 10%, 15%, 20%, 30%, 50% e 100%. Fonte: (SALES <i>et al.</i> 2009).....	72
Figura 4.2 - Resistência à compressão dos concretos da série A – Cimento CPV, aos 7,14 e 28 dias com a substituição da areia pela CBCA nas percentagens 0%, 30%, 50%. (SALES <i>et al.</i> , 2010).....	74
Figura 4.3 - Resistência à compressão dos concretos da série B – Cimento CP III 40, aos 7,14 e 28 dias com a substituição da areia pela CBCA nas percentagens 0%, 30%, 50%. (SALES <i>et al.</i> , 2010).....	75
Figura 4.4 - Resistência à compressão dos concretos da série C – Cimento CP II 32, aos 7,14 e 28 dias com a substituição da areia pela CBCA nas percentagens 0%, 30%, 50%. (SALES <i>et al.</i> , 2010).....	75
Figura 4.5 – Resistência à compressão dos blocos vazados aos 7,14, 21 e 28 dias com a substituição da areia pela CBCA nas percentagens 0%, 15%, 20%, 25%. (SILVA <i>et al.</i> , 2011).....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Composição química básica de amostras de bagaço de cana-de-açúcar seco de três diferentes usinas (adaptado de CORDEIRO, 2006).....	17
Tabela 3.2 - Geração de Bioeletricidade no Brasil em 2013 (Adaptado ANEEL, 2013).....	19
Tabela 3.3 – Valor e produção de cana-de-açúcar dos principais produtores mundiais (ONU, 2010).....	21
Tabela 3.4 – Classificação das fontes de energia (GOLDEMBERG E LUCON, 2007).....	37
Tabela 3.5 - Principais tipos de concreto dosado em central e suas características (ABESC, 2007).....	40
Tabela 3.6 - Tipos de cimento Portland comercializados no Brasil (KIHARA e CENTURIONE, 2005).....	43
Tabela 3.7 - Classificação, composição e características das adições minerais para concreto (adaptada MEHTA e MONTEIRO, 2008).....	55
Tabela 3.8 - Ensaio para a determinação da atividade pozolânica.....	58
Tabela 3.9 - Teor de sílica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar, segundo diversos autores (adaptado de Flavia, S. J. P. <i>et al.</i> , 2010).....	65
Tabela 3.10 - Influência das temperaturas médias de queima do bagaço de cana-de-açúcar e as propriedades da cinza gerada (adaptado de PAULA, 2006).....	68

LISTA DE NOTAÇÕES, ABREVIATURAS

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

AGEITEC = Agência Embrapa de Informação Tecnológica

ANEEL = Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN = Balanço Energético Nacional

CBCA = Cinza do Bagaço da cana-de-açúcar

CCA = Cinza da Casca de Arroz

CENBIO = Centro Nacional de Referência em Biomassa

COGEN = Associação da Indústria de Cogeração de Energia

CP = corpo de prova

CPFL = Companhia Paulista de Força e Luz

C-S-H = silicato de cálcio hidratado

CTC = Centro de Tecnologia Canavieira

DEMC = Departamento de Engenharia de Materiais e Construção

EMBRAPA = Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GW = Gigawatt

ICONE = Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacional

IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

kg = quilograma

MSPA = Mauritius Sugar Producers' Association

MW = Megawatt

NBR = Norma Brasileira de Regulamentação

ONU = Organização da Nações Unidas

PROÁLCOOL = Programa Nacional do Álcool

SiO₂ = Dióxido de Silício

tep - tonelada equivalente de petróleo

ton. (t) – tonelada

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

ÚNICA = União da Indústria de Cana-de-açúcar

UNICAMP = Universidade Estadual de Campinas – SP

USDA = United States Department of Agriculture

WBCSD = World Business Council for Sustainable Development

WWI = World Watch Institute

RESUMO

Este estudo tem como finalidade avaliar o potencial de crescimento da produção de etanol e eletricidade, através da queima do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil, bem como a utilização de outros subprodutos, oriundos das usinas que processam a cana-de-açúcar. Depois de muita pesquisa no meio acadêmico, o subproduto “bagaço da cana-de-açúcar”, também está sendo utilizada na indústria de papel, indústria moveleira em aglomerados e na alimentação de animais. Além disso, depois do processo de queima do bagaço para produção de energia elétrica, restam cerca de 2,5% de cinzas, o que equivale a quatro milhões de toneladas por ano, que são destinados a aterros e adubação. Devido a isso, foram criados estudos que comprovaram que a cinza proveniente desta queima, pode ser usada como material alternativo na construção civil, substituindo parte da areia na produção de argamassa e concreto não estrutural. Neste trabalho, faz-se a comparação dos resultados de três estudos realizados na área, comprovando através de ensaios, que a cinza do bagaço da cana-de-açúcar tem propriedades semelhantes a da areia e pode trabalhar como fíler quando adicionado no concreto, preenchendo os vazios e aumentando a resistência.

Palavras chaves: Cinzas do bagaço de cana, energia, cana-de-açúcar, biomassa, resíduos.

1. INTRODUÇÃO

No processo da indústria sucroalcooleira, a biomassa “bagaço da cana-de-açúcar” se destaca como a principal fonte de geração de bioeletricidade no país, tornando as usinas autossuficientes em termos de suprimento energético, fornecendo toda a eletricidade e todo o vapor necessários ao processo de produção (COELHO, 1999). Essa biomassa, antes considerada um resíduo causando problemas ambientais pelo grande volume produzido, hoje gera uma energia limpa, renovável, e uma receita extra para as usinas sucroalcooleira com a venda dos eventuais excedentes de energia.

Segundo Sales (2009), o Brasil produz cerca de quatro milhões de toneladas de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) por ano, devido à incineração do bagaço nas usinas sucroalcooleiras nacionais. As indústrias desse setor queimam o bagaço e a palha da cana-de-açúcar para geração de energia elétrica destinada para consumo próprio. Como o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, esse potencial energético de fonte limpa e renovável, deveria ser mais incentivado como alternativa de energia sustentável para o crescimento do Brasil. Essa biomassa de matéria orgânica vegetal pode ter seu potencial aumentado na produção de energia e biocombustíveis.

As cinzas resultantes da queima são descartadas em aterros ou lançadas em plantações como adubo. De acordo com Sales (2009), essa cinza é um material fraco para adubação, pois não contém potássio para correção da acidez

do solo, além de apresentar materiais pesados como Cádmio e Chumbo incorporados a cana-de-açúcar através de inseticidas, herbicidas e maturadores, podendo contaminar o solo e o lençol freático.

Além de poder ser reaproveitada como fíler em concreto asfáltico, a cinza que contém grande quantidade de Dióxido de Silício - SiO_2 (acima de 70%), também pode ser adicionada a argamassa como agregado miúdo em substituição a areia, e dependendo de sua reatividade, pode ser utilizada como material pozolânico para substituir parte do cimento.

Se confirmado o potencial para o uso dessa cinza como agregado miúdo em argamassas e concretos substituindo a areia, será possível utilizar menos areia na construção civil, que é retirada dos leitos dos rios e, ao mesmo tempo, reduzirá a necessidade de áreas para destino da cinza que é descartada na natureza, contribuindo ambos para redução do impacto ambiental.

2. OBJETIVOS

Os objetivos desse trabalho são avaliar o potencial e a necessidade do subproduto “bagaço de cana-de-açúcar”, como uma fonte alternativa de energia limpa e renovável, haja vista que o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Além disso, avaliar a possibilidade e viabilidade de aproveitamento das cinzas produzida pela queima do bagaço da cana-de-açúcar como fíler ou agregado miúdo na fabricação do concreto, substituindo a areia em várias porcentagens em ensaios de resistência, para que se descubra uma substituição mais adequada, a fim de confirmar a similaridade ou superioridade quanto à resistência. O estudo avalia que a substituição de 15% a 50% em massa da areia natural pelas cinzas, deverá preservar as características físicas e mecânicas da argamassa e do concreto, pois a CBCA é composta em média de 70% de Sílica, o qual é o principal componente da areia;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Bagaço da cana-de-açúcar e Biomassa

De todos os resíduos da unidade industrial sucroalcooleira, o bagaço oriundo da cana-de-açúcar é um dos mais atrativos por causa de seu poder calorífico, devido sua composição química, como mostra a tabela 3.1, o que faz dele a principal fonte energética do processo produtivo da fabricação do açúcar e do álcool (CORDEIRO, 2008; SOUZA *et al.*, 2007). A queima do bagaço de cana-de-açúcar para geração de energia libera carbono na atmosfera na forma de CO₂. Porém, através da fotossíntese, a cultura da cana-de-açúcar anula o balanço de emissões de CO₂. A composição química do bagaço de cana varia de acordo com o tipo de cana cultivada, com os tipos de fertilizantes e herbicidas utilizados e com fatores naturais como o clima, o solo e a água (CORDEIRO, 2006).

Tabela 3.1 – Composição química básica de amostras de bagaço de cana-de-açúcar seco de três diferentes usinas (adaptado de CORDEIRO, 2006).

Elemento	Quantidade (% em massa)		
	NASSAR <i>et al.</i> (1996)	JOPAPUR e RAJVANSHI (1997)	JENKINS <i>et al.</i> (1998)
Carbono (C)	49,44	44,10	48,64
Hidrogênio (H ₂)	6,09	5,26	5,87
Oxigênio (O ₂)	40,57	44,40	42,82
Nitrogênio (N ₂)	-	-	0,16
Cinza	3,40	4,20	2,44

Do ponto de vista da geração de energia, o termo biomassa abrange os derivados recentes de organismos vivos utilizados como combustíveis ou para a sua produção. Do ponto de vista da ecologia, biomassa é a quantidade total de matéria viva existente num ecossistema ou numa população animal ou vegetal.

A energia da biomassa é a energia que se obtém durante a transformação de produtos de origem animal e vegetal para a produção de energia calorífica e elétrica. Na transformação de resíduos orgânicos é possível obter biocombustíveis, como o biogás, o bioálcool e o biodiesel.

Segundo Souza (2013), a bioeletricidade no Brasil, atingiu em novembro de 2013 o equivalente a uma usina Belo Monte em potência instalada, chegando a 11.407 MW por meio de 475 usinas em operação como mostra na tabela 3.2. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a biomassa da cana-de-açúcar é a principal fonte de geração de bioeletricidade no país, com 9.339 MW (81,6% do total), seguida pelo licor negro, combustível resultante de processo da indústria de papel e celulose, que representa 1.530 MW (13,6% do total). O restante da potência instalada pela fonte biomassa é preenchido pela geração por meio de resíduos de madeira, biogás, capim elefante, óleo de palmiste, carvão vegetal e casca de arroz. Dados da ANEEL mostram que a capacidade convencionada total do Brasil atualmente é de 134.698 MW ano. Nas termelétricas a biomassa em geral, com seus 11.407 MW em operação, representam mais de 8,47% do total da matriz brasileira. Isso coloca a biomassa em terceira posição, atrás apenas das usinas hidrelétricas com 63,81% e a gás natural com 10,32%.

Tabela 3.2 - Geração de Bioeletricidade no Brasil em 2013 (Adaptado ANEEL, 2013).

Empreendimentos em Operação							
Tipo	Capacidade Instalada			%	Total		%
	N.º de Usinas	(kW)			N.º de Usinas	(kW)	
Hidro		1.090	85.948.506	63,81	1.090	85.948.506	63,81
Gás	Natural	113	12.170.186	9,04	152	13.895.609	10,32
	Processo	39	1.725.423	1,28			
Petróleo	Óleo Diesel	1.107	3.518.075	2,61	1.141	7.667.688	5,69
	Óleo Residual	34	4.149.613	3,08			
Biomassa	Bagaço de Cana	378	9.338.666	6,93	475	11.407.712	8,47
	Licor Negro	16	1.530.182	1,14			
	Madeira	50	422.837	0,31			
	Biogás	22	79.594	0,06			
	Casca de Arroz	9	36.433	0,03			
Nuclear		2	1.990.000	1,48	2	1.990.000	1,48
Carvão Mineral	Carvão Mineral	13	3.389.465	2,52	13	3.389.465	2,52
Eólica		108	2.219.769	1,65	108	2.219.769	1,65
Importação	Paraguai		5.650.000	5,46	8.170.000		6,06
	Argentina		2.250.000	2,17			
	Venezuela		200.000	0,19			
	Uruguai		70.000	0,07			
Total		3.032	134.698.040	100	3.032	134.698.040	100

No caso específico do Estado de São Paulo, é intensa a produção de biomassa energética por meio da cana-de-açúcar, sendo comparável à produção de energia hidráulica. O Estado é importador de eletricidade (40% do que consome) e exportador de álcool para o resto do País. Verifica-se, portanto, que, apesar da produção de biomassa ser mundialmente considerada uma atividade extremamente demandante de terras, mesmo numa região com alta densidade demográfica é possível encontrar áreas para essa atividade. A maior parte da energia dessa biomassa é utilizada na produção do etanol – combustível líquido.

Segundo a União da Indústria da cana-de-açúcar, a bioeletricidade é uma energia limpa e renovável, feita a partir da biomassa: resíduos da cana-de-açúcar (bagaço e palha), restos de madeira, carvão vegetal, casca de arroz, capim-elefante e outras. No Brasil, cada tonelada de cana moída na fabricação de açúcar e etanol gera, em média, 250 kg de bagaço e 200 kg de palha e pontas. Com alto teor de fibras, o bagaço de cana, desde a revolução industrial, tem sido empregado na produção de vapor e energia elétrica para a fabricação de açúcar e etanol, garantindo a autossuficiência energética das usinas durante o período da safra.

3.1.1 Cadeia industrial sucroalcooleira

O Brasil é hoje o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo como mostra na tabela 3.3, e seus produtos são largamente utilizados na produção de açúcar, etanol e geração de bioeletricidade. De acordo com o Procana (2013), o setor sucroalcooleiro foi responsável por aproximadamente 2% do PIB nacional e por 31% do PIB da agricultura no Brasil em 2012, tendo empregado cerca de 4,5 milhões de pessoas.

A cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil no início do século XVI, quando foi iniciada a instalação de engenhos de açúcar, que em pouco tempo substituiu a indústria extrativa do pau-brasil (QUEIROZ, 2007).

Tabela 3.3 - Valor e produção de cana-de-açúcar dos principais produtores mundiais (ONU, 2010).

País	Produção (1.000 US\$)	Produção (t)
Brasil	23.450.773	719.157.000
Índia	8.482.043	277.750.000
China	3.456.697	111.454.359
Tailândia	2.259.441	68.807.800
México	1.655.694	50.421.600
Paquistão	1.459.132	49.372.900
Austrália	1.032.953	31.457.000
Argentina	952.273	29.000.000
Filipinas	950.093	34.000.000
Indonésia	870.180	26.500.000
Estados Unidos	760.852	24.820.600

Criado em 1975, o Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL) foi o passo inicial do que hoje é considerado o mais importante e bem-sucedido programa de combustível comercial renovável já implantado no mundo. Lançado por decreto presidencial, o PROÁLCOOL incentivou a oferta em grande escala de etanol produzido de cana-de-açúcar, mandioca e outros insumos, aproveitando-se da experiência acumulada do Brasil desde a década de 20 com a produção e utilização do etanol combustível em menor escala. O primeiro “choque do petróleo” em 1973, que causou forte aumento no preço do barril de petróleo, foi o

principal estímulo para o lançamento do PROÁLCOOL. Na época, a maior parte do petróleo utilizado no Brasil era importado e a elevação no preço do petróleo teve forte impacto nas contas externas brasileiras. A produção brasileira de etanol ilustra bem o sucesso do programa: o total cresceu de 555 milhões de litros em 1975-76 para mais de 20 bilhões de litros na safra 2011-12 e agora alcançou 25,37 bilhões de litros no acumulado do início da corrente safra até o final de dezembro de 2013 (ÚNICA, 2013). Em 2013, a safra de cana-de-açúcar bateu novo recorde histórico atingindo 594 milhões de toneladas, 11,82% a mais em relação à safra de 2012. Atualmente, a indústria sucroalcooleira nacional vive uma perspectiva positiva, investindo na recuperação de seus canaviais. Para os próximos cinco anos estima-se um crescimento anual de até 9% (ÚNICA, 2013).

Hoje o cultivo da Cana de Açúcar é geralmente feito de forma extensiva. As plantações ocupam vastas áreas contíguas e é necessária uma grande área plantada para justificar e manter produtiva a cadeia industrial à sua volta, as usinas de açúcar e Etanol. No entanto, os agricultores precisam conservar intocadas as áreas ao redor de mananciais de água, topo de montanhas e aclives acentuados, além de manter um percentual mínimo de mata nativa, que varia de região a região.

3.1.1.1 Cogeração de energia

Segundo a Associação da Indústria de Cogeração de Energia - COGEN (2013), cogeração de energia é a produção simultânea e de forma seqüenciada, de duas ou mais formas de energia a partir de um único combustível. O processo mais comum é a produção de eletricidade e energia térmica (calor ou frio) a partir do uso de gás natural e/ou de biomassa, entre outros. Os principais equipamentos que compõem esses sistemas são aqueles que utilizando um combustível (biomassa e/ou gás natural) produzem energia mecânica, para mover um gerador que produz eletricidade e, complementarmente, outros equipamentos produzem energia térmica. Ainda, de acordo com a COGEN, os sistemas de cogeração mais usados são: motores a combustão (ciclo Otto ou Diesel); caldeiras que produzem vapor para as turbinas a vapor; turbinas a gás natural; caldeiras de recuperação e trocadores de calor; geradores elétricos, transformadores e equipamentos elétricos associados; sistemas de chillers de absorção, que utilizam calor (vapor ou água quente) para produção de frio (ar condicionado); sistemas de ciclo combinado (turbinas a vapor e gás natural) numa mesma central; e, equipamentos e sistemas de controle de geração e de uso final de energia.

Os sistemas de cogeração apresentam como principal vantagem, a economia de investimentos em transmissão e distribuição de energia, e a sua elevada eficiência energética, quando comparado aos sistemas tradicionais de geração de eletricidade através de termelétricas (COGEN, 2013). Do ponto de vista técnico e institucional, o setor sucroalcooleiro é praticamente autosuficiente em termos de

suprimento energético, produzindo toda a eletricidade e todo o vapor necessários ao processo de produção (COELHO, 1999).

A cogeração feita nas usinas de cana-de-açúcar ocorre segundo a figura 3.1: o bagaço ao ser queimado gera energia térmica em forma de vapor e energia elétrica. Em uma fornalha o bagaço é queimado, enquanto o vapor é produzido em uma caldeira, esse vapor gira uma turbina que, por estar interligada ao eixo de um gerador, faz com que o mesmo entre em movimento, e assim gera energia elétrica (CARDOSO, 2011).



Figura 3.1 - Cogeração de energia produzida pela queima do bagaço da cana-de-açúcar.
Fonte: www.açúcguarani.com.br, acesso em 19 dez. 2013.

O processamento de cada tonelada de cana necessita de aproximadamente 12 kWh de energia elétrica, que é obtido através de cogeração pelo próprio resíduo da cana-de-açúcar (palha, bagaço e vinhoto) (CORDEIRO, 2006).

3.1.2 Produção do bioetanol

O etanol é composto orgânico líquido, sem cor, tóxico, inflamável, com cheiro forte e consistência próxima à da água. É conhecido como "álcool etílico", ou apenas "álcool", apesar deste termo corresponder – oficialmente – a toda uma família de substâncias. Recentemente o termo "bioetanol" também tem sido usado como sinônimo de etanol, quando se quer enfatizar a origem renovável (novacana.com, 2013). O etanol brasileiro, produzido de cana, apresenta vantagens econômicas e ambientais claramente documentadas em relação ao etanol produzido de outros insumos. O balanço energético do etanol brasileiro, ou a proporção entre a energia fóssil utilizada para produzi-lo e a energia contida no combustível produzido, é altamente positivo. São nove unidades de energia renovável para cada unidade de energia fóssil utilizada na produção. Segundo o World Watch Institute, esse índice é cerca de quatro vezes superior ao do etanol produzido no continente europeu, e quase cinco vezes maior que o do etanol produzido a partir do milho.

O Brasil é o maior produtor e exportador de açúcar, segundo United States Department of Agriculture (USDA). Segundo a União da Indústria de cana-de-

açúcar, o Brasil mantém uma média de crescimento da produção superior a 7% ao ano, amparada no fato de possuir algumas vantagens competitivas para a produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol:

- condições climáticas favoráveis e grande extensão de terra disponível e propícia para a produção de cana-de-açúcar;
- possibilidade de cultivo da cana-de-açúcar em todas as regiões do país, o que possibilita períodos diferentes de colheita conforme região (entre março e dezembro na região Centro-Sul e entre agosto e março na região Norte-Nordeste);
- condições de cultivo favoráveis, que permitem ao Brasil que a cana-de-açúcar seja colhida cinco ou mais safras antes de precisar ser replantada;
- de acordo com a figura 3.2 em verde, possibilidade de ampliação da área cultivada. Segundo dados da UNICA, preparados pelo Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacional (ICONE), e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), aproximadamente 3,6% da terra cultivável do Brasil, ou 9,5 milhões de hectares, são utilizados para a produção de cana-de-açúcar, o que confere ao Brasil uma margem significativa para a expansão de sua capacidade de produção;

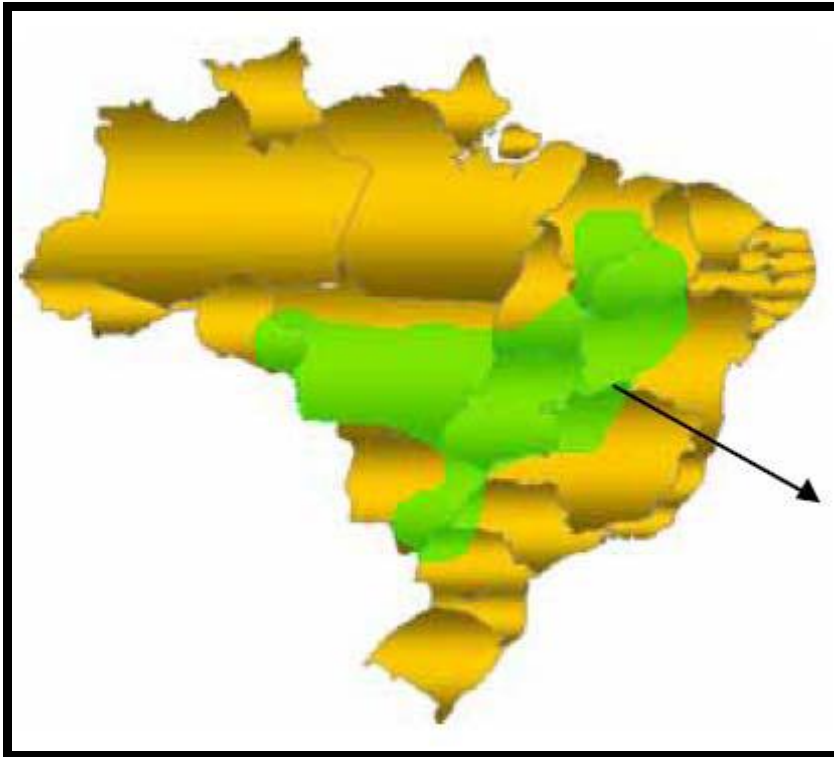


Figura 3.2 – Área disponível para a ampliação da agricultura.
Fonte: (adaptado de ÚNICA, 2004).

- baixo custo de produção versus matéria-prima que gera produtos mais eficientes. Segundo a LMC International, o Brasil tem um dos menores custos de produção de cana-de-açúcar, devido a um ambiente de produção favorável que permite obter altos índices de produtividade ao longo dos ciclos;
- disponibilidade de terras agricultáveis a preços relativamente baixos;
- avanços tecnológicos introduzidos pelo Brasil na produção de açúcar e etanol com a mecanização que deixa os produtores brasileiros bem posicionados em relação aos seus competidores internacionais e mais eficientes;
- incentivo para o uso de etanol, desde meados da década de 70, pelo governo brasileiro como combustível alternativo para a frota de veículos

leves, inclusive por meio de regulamentações que determinam a mistura obrigatória de etanol à gasolina e o lançamento dos veículos Flexfuel.

3.1.2.1 Etapas da produção

Conforme figura 3.3, podemos acompanhar as etapas da produção de uma usina sucroalcooleira: é extraído o caldo da cana-de-açúcar para produção de etanol e açúcar, enquanto que o bagaço é queimado gerando vapor d'água para as turbinas e geradores produzirem energia elétrica.

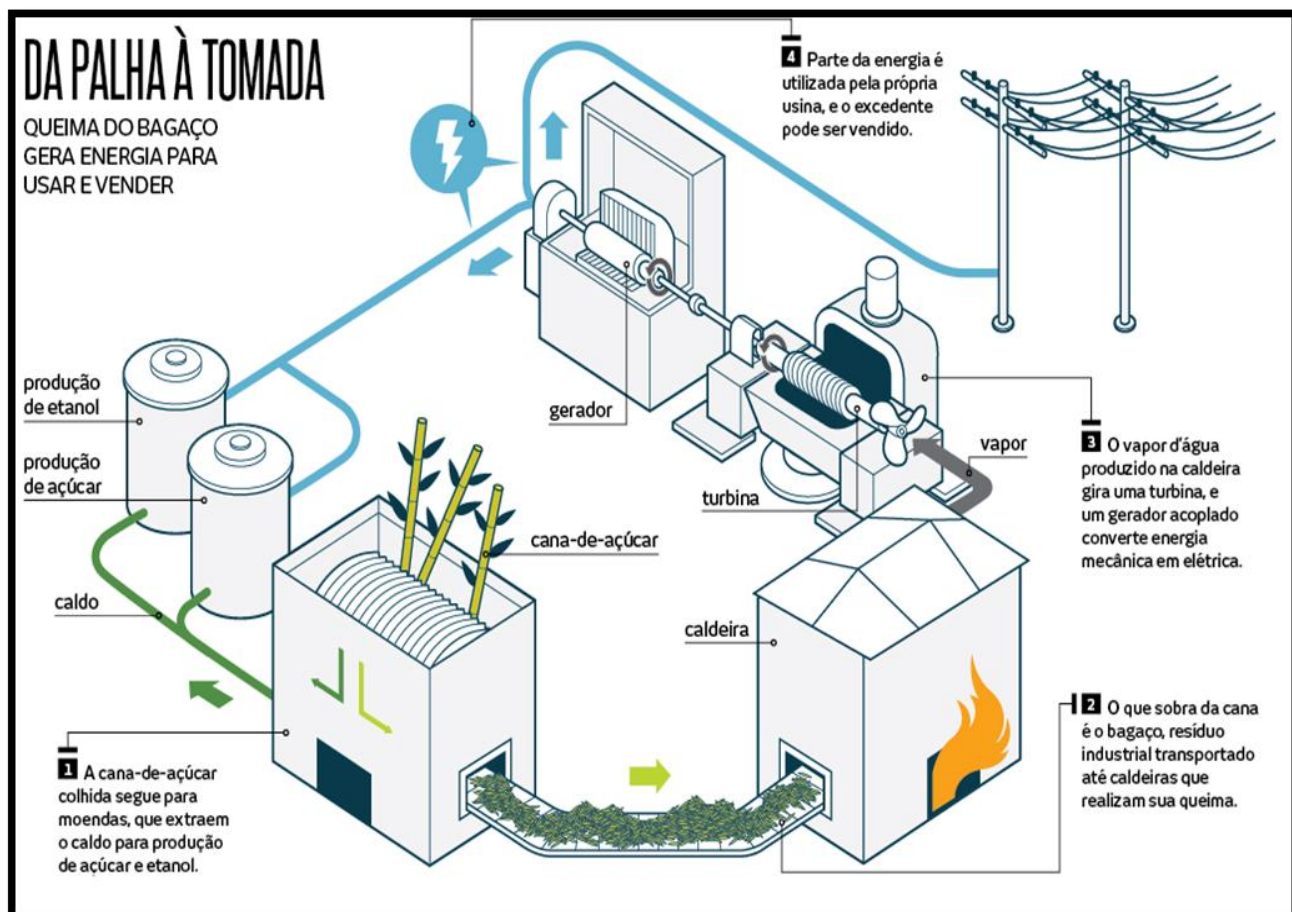


Figura 3.3 – Produção de uma usina sucroalcooleira. Fonte: Biomassa no Bagaço. Disponível em: <<http://revistagalileu.globo.com>> acesso em 17 nov. 2013.

Após a colheita mostrada na figura 3.4, manual ou mecânica, a cana-de-açúcar é transportada em caminhões, bi-caminhões e/ou até mesmo “treminhões”, para o processamento na usina conforme figura 3.5.



Figura 3.4 – Colheita mecanizada da cana-de-açúcar. (Ageitec, 2013)



Figura 3.5 – Transporte da cana-de-açúcar para usina. (Ageitec, 2013)

A cana então é recebida na usina onde é feita a pesagem e a amostragem, para fins de determinação do teor de sacarose e porcentagem de sólidos solúveis.

A descarga ocorre através do equipamento chamado tombador e hilo, o qual despeja a cana no local denominado "Casa de cana" ou mesa alimentadora.

Depois a cana é lavada como visto na figura 3.6, onde é retirado sua poeira, areia, terra e outros tipos de impurezas. Apenas a cana queimada é lavada. (novacana.com, 2013).



Figura 3.6 – Lavagem da cana para retirada de impurezas. (Ageitec, 2013)

Na seqüência, a cana é picada e passa por um eletroímã, que retira materiais metálicos do produto. Depois é moída por rolos trituradores conforme figura 3.7, produzindo um líquido chamado melado. Cerca de 70% do produto original viram esse caldo, enquanto os 30% da parte sólida se transforma em bagaço.



Figura 3.7 – Triturador para retirada do melado. (Ageitec, 2013)

Desse ponto em diante, o melado segue por dois caminhos diferentes: produção de bioetanol e produção de açúcar. Para a produção do bioetanol temos as seguintes etapas:

*Esterilização: o caldo é aquecido para eliminar micro-organismos;

*Fermentação do caldo: o caldo é misturado a leveduras que se alimentam do açúcar quebrando as moléculas de glicose, produzindo etanol e gás carbônico. O processo de fermentação dura diversas horas, e como resultado produz o vinho, chamado também de vinho fermentado, que possui leveduras, açúcar não fermentado e cerca de 10% de etanol (novacana.com, 2013).

*Destilação do vinho: o vinho é aquecido e na evaporação e condensação, é separado do etanol (álcool hidratado – etanol biocombustível).

*Desidratação: utiliza-se um solvente para evaporar apenas a água surgindo o álcool anidro (misturado à gasolina).

Para a produção de açúcar, as etapas industriais são:

- *Purificação do caldo: peneiragem e clarificação com agentes químicos;
- *Evaporação do caldo para retirar cerca de 80% da água e concentrar o xarope;
- *Cozimento para saturar o xarope e produzir os cristais;
- *Centrifugação: separação entre cristais e massa cozida;
- *Secagem com etapas de evaporação e resfriamento até a temperatura de ensaque.

3.1.2.2 Resíduos do processo:

Os resíduos sólidos, como bagaço, são reutilizados energeticamente como biomassa. Já o dióxido de carbono (CO₂), derivado do processo de fermentação, pode ser utilizado para produção de refrigerantes.

Conforme a figura 3.8, os principais subprodutos da indústria sucroalcooleira são folhas, pontas, palha, bagaço, torta de filtro, melaço, leveduras, vinhaça (também chamada de vinhoto ou restilo) e água de lavagem (CORTEZ *et al.*, 1992).

A água de lavagem da cana antes do processo de moagem pode ser reutilizada na produção de biogás e na fertirrigação. O bagaço é empregado como combustível, na produção de energia, papel, aglomerados e celulose.

As folhas e pontas podem ser utilizadas como forragem, além das mesmas empregadas pelo bagaço. A vinhaça é utilizada como fertilizante na adubação dos canaviais. A torta de filtro (subproduto do processo de clarificação do caldo na fabricação de açúcar) e a levedura (obtida depois da fermentação do caldo) são também empregadas na adubação (POGGIALI, 2010).

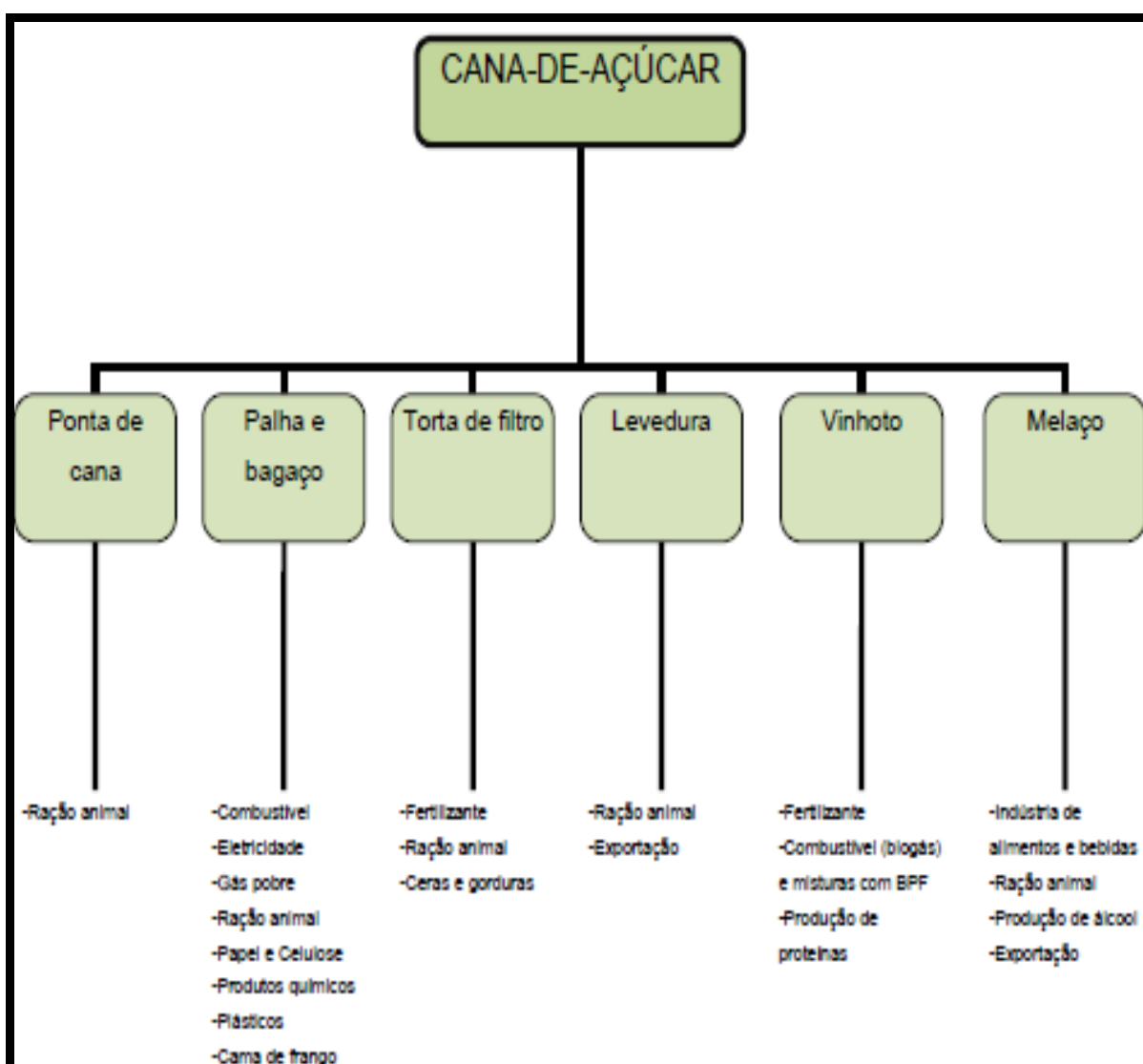


Figura 3.8 - Subprodutos da agroindústria canieira e seus respectivos usos alternativos
 Fonte: (adaptado de CORTEZ *et al.*, 1992).

3.1.3 Energia renovável e não renovável

Nas fontes de energia não renováveis, não é possível repor o que se gasta, uma vez que podem ser necessários milhões de anos para poder contar novamente com eles. São aqueles cujas reservas são limitadas. As principais são a energia da fissão nuclear e os combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão).

Os combustíveis renováveis são os que usam como matéria-prima elementos renováveis para a natureza, como a cana-de-açúcar, utilizada para a fabricação do etanol e também, vários outros vegetais como a mamona, utilizada para a fabricação do biodiesel ou outros óleos vegetais que podem ser usados diretamente em motores diesel com algumas adaptações.

De acordo com Filho (2009), gerente de novos negócios da CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz), a biomassa da cana-de-açúcar é uma fonte de energia limpa e renovável, mas diferente da gerada pela água, já que as áreas de plantio de cana-de-açúcar já existem; diferente de uma hidrelétrica que, para ser constituída, precisa inundar áreas, mexendo no ecossistema local e faz com que muita gente perca suas terras.

Além de ser uma alternativa às outras fontes de energia, como a eólica e a proveniente do petróleo, a bioeletricidade produzida a partir do bagaço da cana também estimula o mercado interno. “Cerca de 90% dos equipamentos usados na usina, como caldeira, turbina e geradores, são brasileiros” (FILHO, 2009). Com isso, há o benefício sócio-econômico, que estimula a indústria interna.

Na figura 3.9, destacam-se as principais fontes de energia utilizadas no Brasil de acordo com o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional de 2012:

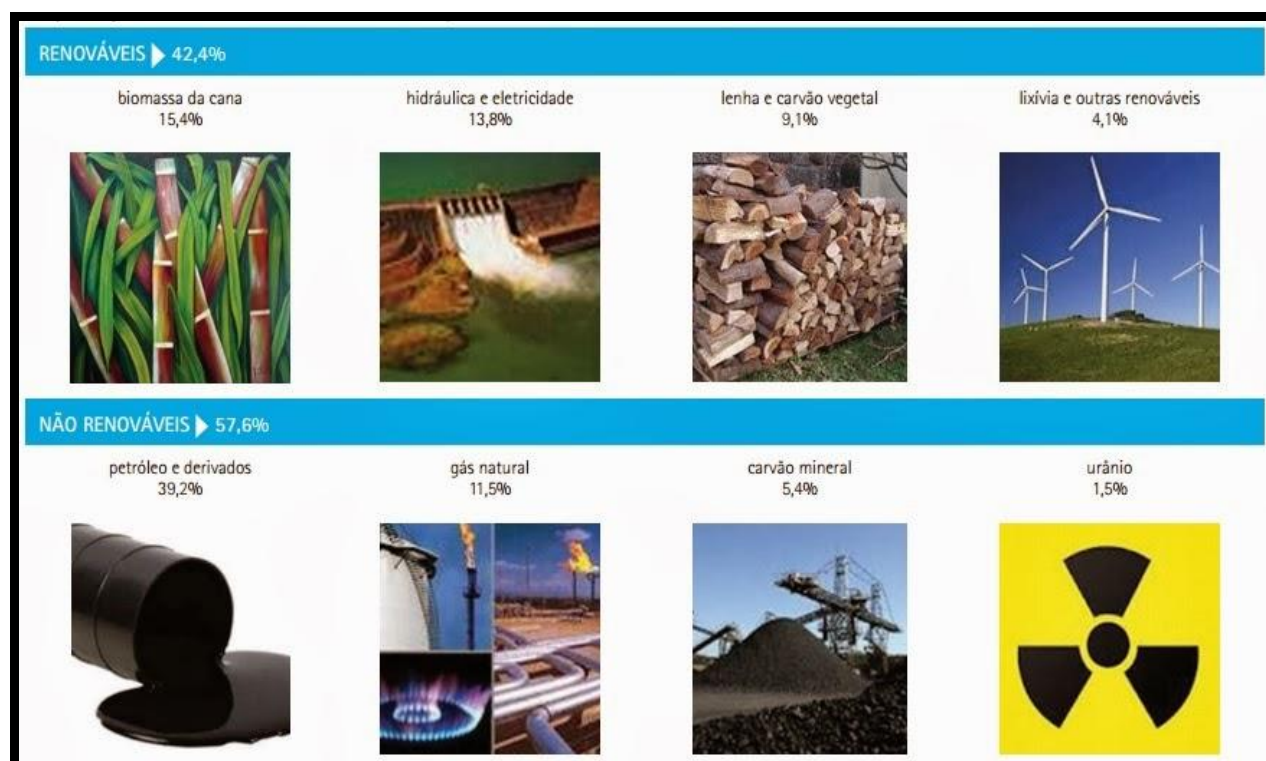


Figura 3.9 – Repartição da oferta interna de energia. Fonte: (BEN, 2012).

Segundo a “*Mauritius Sugar Producers’ Association*” (MSPA), na definição de biomassa para a geração de energia, excluem-se os tradicionais combustíveis fósseis, embora estes também sejam derivados da vida vegetal (carvão mineral) ou animal (petróleo e gás natural), é resultado de várias transformações que requerem milhões de anos para acontecerem, não são renováveis e o balanço da emissão de CO₂ é alto.

O uso do etanol e da bioeletricidade já contribui para reduzir em 10% as emissões anuais brasileiras de gases causadores do efeito estufa. Considerando apenas os setores de transporte e eletricidade, as emissões evitadas atingem 22% ao ano. O Brasil é reconhecido e elogiado mundialmente pelo forte

componente renovável de sua matriz energética. Hoje, mais de 47% de toda a energia utilizada no país vem de fontes renováveis. O setor sucroenergético tem papel-chave nesse quadro: a cana-de-açúcar, matéria-prima para a produção de etanol e bioeletricidade, é a segunda maior fonte de energia do país, respondendo por 18% de toda a energia consumida pelo Brasil (ÚNICA, 2013).



Figura 3.10 – Bagaço da cana-de-açúcar como exemplo de biomassa. Fonte: (MSPA, 2013).

A biomassa pode considerar-se um recurso natural renovável figura 3.10, enquanto que os combustíveis fósseis não se renovam em curto prazo. A queima de biomassa provoca a liberação de dióxido de carbono na atmosfera, mas como este composto havia sido previamente absorvido pelas plantas que deram origem ao combustível, o balanço de emissões de CO₂ é nulo.

Segundo Cordeiro (2008), devido à escassez de recursos não renováveis e aos problemas ambientais, a biomassa é uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis, como o óleo diesel e a gasolina.

Todos os seres necessitam de algum tipo de energia, mas o ser humano, com a evolução e o consumo desenfreado, determina um aumento cada vez maior do consumo de energia. Esse aumento do consumo de recursos não renováveis resulta na poluição do planeta. O Sol é nossa maior fonte de energia e 99% de energia térmica utilizada pelos ecossistemas provêm do Sol. Além disso, podemos utilizar esse calor para geração de eletricidade.

Na tabela 3.4, podemos ver de uma forma geral que, as fontes de energia consumidas no mundo são similares aos recursos energéticos encontrados no Brasil: as renováveis; como biomassa, solar, eólica, hidráulica, e as não renováveis; que englobam principalmente, o petróleo, carvão mineral, gás natural e combustíveis nucleares.

Tabela 3.4 – Classificação das fontes de energia (GOLDEMBERG E LUCON, 2007).

Fontes		Energia primária	Energia secundária	
Não renováveis	Fósseis	carvão mineral	termoeletricidade, calor, combustível para transporte	
		petróleo e derivados		
		gás natural		
	Nuclear	materiais físséis	termoeletricidade,	
Renováveis	"Tradicionais"	biomassa primitiva: lenha de desmatamento	calor	
	"Convencionais"	potenciais hidráulicos de médio e grande porte	hidreletricidade	
		potenciais hidráulicos de pequeno porte		
	"Novas"	biomassa "moderna": lenha replantada, culturas energéticas (cana-de-açúcar, óleos vegetais)	biocombustíveis (etanol, biodiesel), termoeletricidade, calor	
		outros	energia solar	calor, eletricidade e fotovoltaica
			geotermal	calor e eletricidade
			eólica	eletricidade
maremotriz e das ondas				

3.2 Concreto

O concreto é o material mais utilizado na construção civil (figura 3.11), composto por uma mistura de um aglomerante (cimento), agregado miúdo (areia), agregado graúdo (pedra), e água; além de poder conter aditivos (plastificantes e retardadores de pega), e adições (metacaulim, cinza volante, pozolanas, cal, pó de pedra, etc.).

Historicamente, os romanos foram os primeiros a usar uma versão deste material conhecida por pozzolana. No entanto, o material só veio a ser desenvolvido e pesquisado no século XIX (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Quando armado com ferragens passivas, recebe o nome de concreto armado, e quando for armado com ferragens ativas recebe o nome de concreto protendido. Sua resistência e durabilidade dependem da proporção entre os materiais que o constituem. A mistura entre os materiais constituintes é chamada de dosagem ou traço.

Segundo Bastos (2006), o concreto armado pode ter surgido da necessidade de se aliar as qualidades da pedra (resistência à compressão e durabilidade), com as do aço (resistências mecânicas), com as vantagens de poder assumir qualquer forma, com rapidez e facilidade, e proporcionar a necessária proteção do aço contra a corrosão.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a classificação do concreto também pode ser feita a partir de critérios de resistência à compressão (f_{ck} aos 28 dias), dividindo-se nas seguintes categorias:

*Concreto de baixa resistência: resistência à compressão menor que 20 MPa.

*Concreto de resistência moderada: resistência à compressão de 20 a 40 MPa.

*Concreto de alta resistência: resistência à compressão superior a 40 MPa.



Figura 3.11 – Concreto composto por cimento, areia, brita e água. Fonte: Bastos, (2006).

De acordo com a norma NBR 12655 (ABNT, 2006), o concreto pode ser classificado em três categorias, conforme sua massa específica no estado endurecido:

*Concreto leve: possui massa específica não menor que 800 kg/m^3 , mas não excede 2.000 kg/m^3 . Constitui-se de agregados naturais ou processados termicamente que possuem baixa densidade (agregados expandidos de argila, escória siderúrgica, vermiculita, ardósia, resíduos de esgoto sinterizado e outros).

*Concreto normal: possui massa específica maior do que 2.000 kg/m^3 , mas não excede 2.800 kg/m^3 . Constituído normalmente de areia natural, pedra britada ou seixo rolado.

*Concreto pesado: massa específica maior que 2.800 kg/m³. Constituído de agregados de alta densidade, como barita, magnetita, limonita e hematita.

O sucesso de uma construção depende, em grande parte, da correta definição do tipo de concreto a ser utilizado. Na tabela 3.5, temos os principais tipos de concreto dosado em central, suas características e aplicações nos mais variados tipos de obras:

Tabela 3.5 - Principais tipos de concreto dosado em central e suas características (ABESC, 2007).

TIPO	APLICAÇÃO
Rolado	Barragens, pavimentação rodoviária (base e sub-base) e urbana (pisos, contrapisos)
Bombeável	De uso corrente em qualquer obra. Obras de difícil acesso. Necessidade de vencer alturas elevadas ou longas distâncias
Resfriado	Peças de elevado volume como bases ou blocos de fundações
Colorido	Estruturas de concreto aparente, pisos (pátios, quadras e calçadas), guarda-corpo de pontes, etc.
Projetado	Reparo ou reforço estrutural, revestimento de túneis, monumentos, contenção de taludes, canais e galerias
Alta Resistência Inicial	Estruturas convencionais ou protendidas, pré-fabricados (estruturas, tubos etc.)
Fluido	Peças delgadas, elevada taxa de armadura, concretagens de difícil acesso para a vibração
Pesado	Como lastro, contrapeso, barreira à radiação (câmaras de raios-X ou gama, paredes de reatores atômicos) e lajes de subpressão
Leve (600 a 1200 kg/m ³)	Elementos de vedação (paredes, painéis, rebaixos de lajes, isolante termo-acústico e nivelamento de pisos)
Leve estrutural	Peças estruturais, enchimento de pisos e lajes, painéis pré-fabricados
Pavimentos Rígidos	Pavimentos rodoviários e urbanos, pisos industriais e pátios de estocagem
Alto Desempenho (CAD)	Elevada resistência (mecânica, física e química), pré-fabricados e peças protendidas
Convencional (a partir de 20 MPa)	Uso corrente na construção civil
Submerso	Plataformas marítimas
Com fibras e aço, plásticas ou de polipropileno	Reduz a fissuração
Grout	Agregados de diâmetro máx. 4,8 mm

3.2.1 Cimento

O cimento Portland é um material pulverulento, constituído de calcário, alumina, sílica e óxido de ferro. A fabricação consiste em moer a matéria prima, mistura-la nas proporções adequadas e queimar a temperatura de 1450° C. O material sofre fusão incipiente formando pelotas, o clínquer. O clínquer é resfriado e moído. Adiciona-se um pouco de gesso a mistura, resultando o cimento Portland comum (NEVILLE, 1977). Já o cimento Portland Composto é obtido através da adição ou substituição do clínquer por fíler calcário, materiais pozolânicos ou materiais cimentantes. O cimento também pode ser definido como um aglomerante ativo e hidráulico. Aglomerante, pois é o material ligante que promove a união dos grãos de agregados. Ativo, por necessitar de um elemento externo para iniciar sua reação. Hidráulico porque este elemento externo é a água (PORTAL DO CONCRETO, 2013).

Os compostos do cimento comum são: Silicato tricálcico (C_3S), Silicato dicálcico (C_2S), Aluminato tricálcico (C_3A) e Ferroaluminato tetracálcico (C_4AF). Os aluminatos são os responsáveis pelas primeiras reações, porém atingem valores muito baixos de resistência aos esforços mecânicos. Já os silicatos são fundamentais no tocante à resistência, sendo o C_3S nas primeiras idades e o C_2S em idades maiores. O calor desenvolvido pelas reações do aglomerante com a água é devido principalmente ao C_3A , seguido pelo C_3S , uma vez que o C_2S e o C_4AF liberam muito pouco calor no processo de hidratação. O C_3A é responsável pela pega do cimento, uma vez que é o componente mais reativo do clínquer.

O C_4AF tem papel importante na resistência química do cimento, em especial ao ataque de sulfatos às estruturas de concreto. Na figura 3.12, podemos observar o cimento puro, pelota de clínquer, pasta de cimento e água, e argamassa com cimento, água e areia:



Figura 3.12 – Cimento; Clínquer; Pasta de cimento e água; e Argamassa de areia, cimento e água
Fonte: Bastos, (2006).

Principal componente do concreto, o cimento está entre os materiais mais consumidos no planeta. Dados obtidos nos relatórios técnicos do WBCSD-World Business Council for Sustainable Development, organismo composto de uma coligação de 160 empresas internacionais com o objetivo de assegurar o

desenvolvimento sustentável apoiado nos pilares do crescimento econômico, respeito pelo ambiente e progresso social – revelam que a indústria do cimento é responsável por 5% do CO₂ produzido pelo homem em escala mundial, sendo o CO₂ o gás com efeito de estufa que mais contribui para as alterações climáticas. (WBCSD, 2002 *apud* FONSECA, 2010).

Na tabela 3.6, podemos verificar a variedade de tipos de cimento comercializados no Brasil, com diversas adições minerais e nomenclaturas especificados em normas:

Tabela 3.6 – Tipos de cimento Portland comercializados no Brasil. Fonte: (KIHARA e CENTURIONE, 2005).

Nome Técnico do Cimento Portland	Sigla	Classes	Conteúdo dos componentes (%)			
			Clínquer + gesso	Escória	Pozolana	Filler calcário
Comum	CPI	25, 32, 40	100	-	0	-
Comum com Adição	CPI-S	25, 32, 40	99-95	-	1-5	-
Composto com Escória	CPII-E	25, 32, 40	94-56	6-34	0	0-10
Composto com Pozolana	CPII-Z	25, 32, 40	94-76	0	6-14	0-10
Composto com Filler	CPII-F	25, 32, 40	94-90	0	0	6-10
Alto Forno	CPIII	25, 32, 40	65-25	35-70	0	0-5
Pozolânico	CPIV	25, 32	5-45	0	15-50	0-5
Alta Resistência Inicial	CPV-ARI	-	100-95	0	0	0-5
Resistente a Sulfatos	RS	25, 32, 40	-	-	-	-
Baixo Calor de Hidratação	BC	25, 32, 40	-	-	-	-
Branco Estrutural	CPB	25, 32, 40	-	-	-	-

3.2.2 Agregado

Agregado é o material granular sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia. Dentre suas várias aplicações estão: a elaboração de bases para calçamentos, preparação de pistas de rolamento em estradas, lastro de vias férreas, composição de material para revestimentos betuminosos e, principalmente, a utilização como material granuloso e inerte na confecção de argamassas e concretos segundo Petrucci, (1995) *apud* Fonseca, (2010).

Os agregados são um importante componente cujas propriedades têm considerável influência sobre a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto. Considerando-se que os agregados são interligados num todo monolítico por meio da pasta de cimento, eles conferem características técnicas extremamente vantajosas ao concreto, que passa a ter maior estabilidade dimensional e maior durabilidade em relação à pasta de cimento pura (NEVILLE, 1982).

A norma NBR 12655 (ABNT, 2006), classifica os agregados segundo sua massa específica: agregados leves (com massa específica $\leq 1.800 \text{ kg/m}^3$) e agregados densos ou pesados (com massa específica $\geq 3.000 \text{ kg/m}^3$).

Com relação às dimensões das partículas, como mostra a figura 3.13, os agregados podem ser divididos em graúdos e miúdos, sendo considerado graúdo,

todo o agregado que fica retido na peneira de número 4 (malha quadrada com 4,8 mm de lado) e miúdo o que consegue passar por esta peneira:



Figura 3.13 – Agregado graúdo (brita) e agregado miúdo (areia). Fonte: Fonseca, (2010).

Segundo a origem, são classificados como artificiais ou naturais: artificiais são as areias e pedras provenientes do britamento de rochas, pois necessitam da atuação do homem para modificar o tamanho dos seus grãos. Como exemplo de naturais, temos as areias extraídas de rios ou barrancos e os seixos rolados (pedras do leito dos rios). Outro fator que define a classificação dos agregados é sua massa específica aparente: leves (argila expandida, pedra-pomes, vermiculita), normais (pedras britadas, areias, seixos) e pesados (hematita, magnetita, barita) (PORTAL DO CONCRETO, 2013).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), as características dos agregados que são importantes para a tecnologia do concreto incluem porosidade, composição granulométrica, absorção de água, forma e textura artificial das partículas, resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias presentes.

3.2.3 Água

A água é um importante componente do concreto e tem basicamente duas funções: provocar a reação de hidratação dos compostos do cimento, com seu conseqüente endurecimento, e aumentar a trabalhabilidade. Se a quantidade de água for muito pequena, a reação não ocorrerá por completo e também a facilidade de se adaptar às formas ficará prejudicada, porém se a quantidade de água na mistura for grande, o excesso migra para a superfície causando segregação dos materiais pelo processo de exsudação. Deixa atrás de si vazios chamados de porosidade capilar. Esta porosidade prejudica a resistência do concreto aumenta sua permeabilidade e diminui a durabilidade da peça concretada. A proporção entre a água e o cimento utilizados na mistura é chamada de fator água/cimento (PORTAL DO CONCRETO, 2013). Segundo Mehta e Monteiro (1994), a segregação pode ocorrer pela característica das misturas secas, que consiste na separação dos agregados da argamassa do concreto pela vibração excessiva no lançamento; e também a segregação devido à exsudação, que é característica das misturas de concreto muito fluido.

Pode ser usado o *slump-test* para medir a consistência do concreto como mostra na figura 3.14. Utiliza-se uma fôrma cônica com aberturas de 20 cm e 10 cm e altura de 30 cm. É colocado o concreto em três camadas com mesmo volume e adensadas com 25 golpes cada com uma haste metálica de 16 mm de diâmetro. Após a moldagem, retira-se a fôrma lentamente na vertical, e se determina a

diferença da altura da fôrma e o abatimento do concreto. A medida máxima e mínima do abatimento é definida pelo calculista, em função das propriedades desejadas de trabalhabilidade.

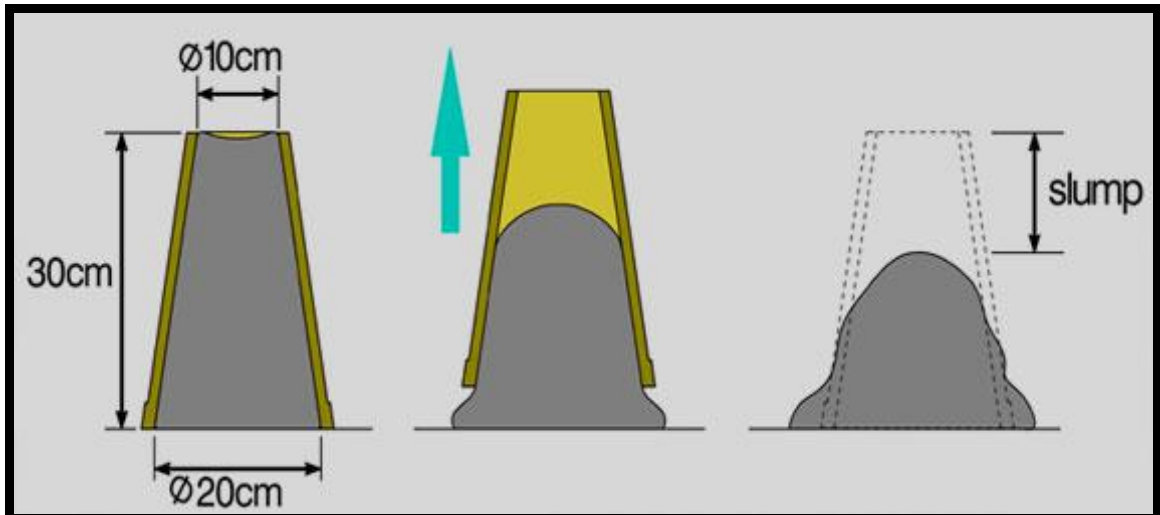


Figura 3.14 – Consistência do concreto através do *slump-test*. Fonte: disponível em <http://engdofuturo.com.br>, acesso em 10 dez. 2013.

A NBR 7212 (ABNT, 2012) – Execução de concreto dosado em central – Procedimento, diz que: “Antes do início da descarga, ao verificar que o concreto apresenta abatimento dentro da classe de consistência especificada, não se admite adição suplementar de água. Qualquer adição de água exigida pela contratante exime a empresa de serviços de concretagem de qualquer responsabilidade quanto às características do concreto constantes no pedido”.

A qualidade do concreto está diretamente relacionada à quantidade e qualidade da água utilizada. Toda água que serve para beber serve para fazer concreto, mas nem toda água que serve para fazer concreto serve para beber. Utilizar água potável é o mais indicado e o mais seguro.

No cimento já hidratado, a água está presente de várias formas:

*Água de constituição: água que faz parte integrante da constituição do sal, perdendo a sua identidade molecular, pois os grupos hidróxidos prendem-se por ligações primárias, covalentes, aos íons metálicos. Quando se consegue eliminar esta água, as propriedades e mesmo a composição do sal são modificadas como acontece, por exemplo, à água dos hidróxidos (GOMES, 2013).

*Água de cristalização ou de hidratação: está ligada à rede cristalina do sal por meio de ligações primárias, de modo que a sua saída se faz à custa da destruição da estrutura física, cristalina, do sal sem que este altere as suas propriedades ou a sua composição química: a eliminação dessa água dá-se, em geral, a temperaturas um pouco inferiores àquelas a que é expulsa a água de constituição (GOMES, 2013).

*Água zeolítica ou intersticial: água ligada também à rede cristalina, mas que se interpõe nas lamelas do gel da pasta de cimento hidratada, de modo que a sua saída ou entrada, não modifica a estrutura, apenas é alterado o espaçamento entre as camadas cristalinas ou lamelas. As propriedades cristalinas não sofrem alterações quando a água zeolítica é eliminada, pois o cristal mantém a sua estrutura. A água zeolítica pode ser retirada por secagem intensa a temperaturas elevadas ou reduzindo a umidade relativa do ambiente a valores inferiores a 10%, embora a perda desta água leve a uma retração considerável, pois as Forças de Van der Waals conseguem aproximar as camadas cristalinas ou lamelas (MEHTA; MONTEIRO, 2005). A saída desta água é reversível se em atmosfera úmida o gel retoma gradualmente a água, afastando as placas/lamelas.

*Água adsorvida: A superfície dos produtos da hidratação do cimento é muito grande, dadas às pequenas dimensões dos cristais. A enorme quantidade de átomos à superfície de tais cristais, cujas forças não estão totalmente saturadas pelos átomos vizinhos, cria as chamadas forças de superfície, de adsorção ou de Van der Waals, que atraem as moléculas dos fluidos da sua vizinhança. As moléculas de água são fortemente atraídas pela superfície dos cristais dos componentes hidratados do cimento. Quando a umidade relativa baixa a cerca de 30% uma parte desta água pode ser perdida correspondendo a uma importante parcela da retração por secagem (MEHTA; MONTEIRO, 2005).

*Água capilar: água que ocupa o espaço nos capilares e é livre da ação das forças de adsorção: resulta da condensação do vapor de água nos capilares. A sua quantidade varia com a umidade relativa da atmosfera e com o raio capilar. A entrada e saída são reversíveis, dependendo da tensão de vapor e da temperatura (GOMES, 2013).

*Água livre: água que está na pasta de cimento ou no concreto, sem sujeição a quaisquer forças, ficando livre de se evaporar durante o endurecimento da pasta ou do concreto (GOMES, 2013).

3.2.4 Extração da areia e impactos ambientais

Areia é um material de origem mineral finamente dividido em grânulos, composta basicamente de dióxido de silício. Forma-se à superfície da Terra pela fragmentação das rochas por erosão, por ação do vento ou da água. Através de processos de sedimentação pode ser transformada em arenito. Segundo Bauer (2010), a areia, geologicamente, é um sedimento clástico inconsolidado, de grãos em geral quartzosos de diâmetro entre 0,06 e 2,0 mm. Considerada como material de construção, areia é o agregado miúdo. Quanto ao solo, a areia é classificada como sedimentar, isto é, que são transportadas. Quanto ao transporte, são coluvionares (gravidade), aluvionares (água), e eólicos (vento).

De acordo com Luz e Lins (2005), conforme sua constituição química, a areia tem várias aplicações: fabricação de vidros (alto teor de sílica); pedras de isqueiros (cório extraído de areias monazíticas); eletrodos para lâmpadas de descarga (tório extraído de areias monazíticas); preparo de concreto para moldes de metais, fabricação de tijolos refratários e de esmeril; uso de areias com granulometria selecionada em maçaricos especiais e limpeza de superfícies oxidadas, fachadas de prédios feitas de pedras e ladrilhos; filtro de água, para uso doméstico e industrial, quando colocada em camadas, intercaladas com britas de diversos diâmetros; jateamento de areia, usado para gravações de inscrições em monumentos e peças ornamentais.

Conforme figura 3.15, as areias, como material de construção, provêm de rios (portos de areia), de cava (depósitos aluvionares), de britagem (pedreiras), de escória (alto-forno), e de praias e dunas. Essa última não se usa para o concreto por causa do cloreto de sódio (BAUER, 2010).



Figura 3.15 – Extração de areia nos rios. Fonte: (Disponível em FOLHAWEB, 2011).

Segundo Sales e Lima (2010), *“A extração de areia natural e de pedra britada exigem muito da natureza. A maioria dos portos de areia e pedreiras provoca desgaste ambiental nos cursos d’água. Estamos começando a ter dificuldade para encontrar areia e pedra natural para uso na construção civil”*.

De acordo com Tobias *et al.* (2010), as atividades de extração de areia são de grande importância para o desenvolvimento social, gerando empregos e crescimento das regiões onde são extraídas, mas igualmente responsáveis por impactos ambientais negativos mostrados a seguir:

- Retirada da vegetação, desnudando o solo, nos locais destinados às caixas de retenção;
- Diminuição da infiltração de água no solo, devido à compactação ocasionada pelo uso de máquinas pesadas;
- Redução espacial do habitat silvestre por ocasião da erradicação da cobertura vegetal nativa;
- Depreciação da qualidade do ar, devido aos dos motores a diesel;
- Aceleração de processos erosivos nos barrancos pelo retorno da água bombeada;
- Aumento da concentração de partículas em suspensão (turbidez) no curso d'água, além da eliminação temporária das áreas de refugio de peixes;
- Contaminação dos cursos d'água causadas pelos resíduos (óleos, graxas) provenientes dos maquinários utilizados no empreendimento;
- Depreciação da qualidade do solo, decorrente da diminuição da sua fertilidade e aeração, por causa da compactação e da remoção da matéria orgânica nas áreas onde o solo foi exposto (TOBIAS *et al.*, 2010).

3.2.5 Adições minerais para o concreto

Segundo Isaia *et al.* (2003), as adições minerais são materiais silicosos e inorgânicos, finamente divididos, adicionados ao concreto em quantidades relativamente grandes, que variam de 20% a 70% por massa do material cimentício total. Neville (1997) define aditivo como um produto químico adicionado ao concreto com a finalidade de obter modificações específicas, ou modificações das propriedades normais do concreto. De acordo com Fonseca (2010), as adições são utilizadas com o objetivo de somar ou mesmo substituir parcialmente, a matéria-prima cimento (devido às suas propriedades semelhantes às do cimento), enquanto que os aditivos são utilizados para alterar as características do cimento, sem alterar sua proporção na composição do concreto.

O uso de adições minerais na indústria do cimento e do concreto, substituindo parcialmente o clínquer ou o cimento, não só reduz o impacto ambiental causado pelos resíduos de outras indústrias quando jogados em depósitos sem destino adequado, mas também reduz o volume de extração de matérias-primas por parte da indústria da construção civil.

Segundo Isaia (2003), conforme sua ação físico-química no concreto, as adições minerais podem ser classificadas em três grandes categorias: materiais pozolânicos, como as cinzas volantes, sílica ativa; materiais cimentícios, como as escórias de alto forno; e materiais não reativos, como o fíler calcário.

De acordo com (MEHTA; MONTEIRO, 2008), as adições minerais mostradas na tabela 3.7 são comumente utilizadas em concretos para fins estruturais e variam conforme sua forma de ação, podendo ser classificadas da seguinte forma:

*Superpozolanas: sílica ativa, metacaulim, cinza de casca de arroz predominantemente amorfa;

*Pozolanas comuns: cinza volante com baixo teor de cálcio, argilas calcinadas, cinzas vulcânicas;

*Pozolanas pouco reativas: escórias de alto-forno resfriadas lentamente, cinza de casca de arroz predominantemente cristalina;

*Cimentantes: escória granulada de alto-forno;

*Cimentantes e pozolânicos: cinza volante com alto teor de cálcio;

*Fíler: calcário, pó de quartzo, pó de pedra.

Tabela 3.7 - Classificação, composição e características das adições minerais para concreto
 Fonte: (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Classificação	Composição química e mineralógica	Características da partícula
Cimentantes		
Escória granulada de alto-forno	Na maior parte silicato vítreo contendo principalmente: cálcio, magnésio, alumínio e sílica. Componentes cristalinos do grupo melilita podem estar presentes em pequenas quantidades.	O triturado em partículas menores de 45 μm (cerca de 500 m^2/kg Blaine). As partículas têm textura áspera.
Cimentantes e Pozolânicos		
Cinzas volantes com alto teor de cálcio	Na maior parte silicato vítreo contendo principalmente cálcio, magnésio, alumínio e álcalis. A pequena quantidade de matéria cristalina presente geralmente consiste de quartzo e C_3A ; cal livre e periclásio podem estar presentes; CS e $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ podem estar presentes no caso de carvões com alto teor de enxofre. O carbono não queimado é menor do que 2%.	O pó corresponde a 10-15% de partículas maiores de 45 μm (normalmente 300-400 m^2/kg Blaine). A maioria das partículas são esferas sólidas com diâmetro menor que 20 μm . A superfície da partícula normalmente é lisa, mas não tão limpa quanto às cinzas volantes com baixo teor de cálcio.
Pozolanas altamente reativas		
Sílica ativa condensada	Consiste essencialmente de sílica pura na forma não-cristalina.	Pó extremamente fino, consistindo em esferas sólidas de 0,1 μm de diâmetro médio (área superficial específica de cerca de 20 m^2/g , por adsorção de nitrogênio).
Cinza de casca de arroz	Consiste essencialmente de sílica pura na forma não-cristalina.	As partículas normalmente são menores do que 45 μm , mas são altamente celulares (área superficial específica de 40 a 60 m^2/g , por adsorção de nitrogênio).
Pozolanas comuns		
Cinza volante com baixo teor de cálcio	Na maior parte silicato vítreo contendo alumínio, ferro e álcalis. A pequena quantidade de matéria cristalina presente consiste geralmente de quartzo, mulita, silimanita, hematita, e magnetita.	O pó corresponde a 15-30% de partículas maiores do que 45 μm (normalmente 200 a 300 m^2/kg Blaine). A maioria das partículas são esferas sólidas com diâmetro médio de 20 μm . Cenosferas e plerosferas podem estar presentes.
Materiais naturais	Além de vidro de aluminossilicato, as pozolanas naturais contêm quartzo, feldspato e mica.	As partículas são moídas a menos de 45 μm e têm textura áspera.
Pozolanas pouco reativas		
Escória de alto-forno resfriada lentamente, cinzas de forno, escória de caldeira, palha de arroz queimada em campo.	Consistem essencialmente de materiais de silicato cristalino e apenas uma quantidade pequena de matéria não-cristalina.	Os materiais devem ser pulverizados em partículas de dimensões muito finas para desenvolver alguma atividade pozolânica. As partículas moídas são de textura áspera.

3.2.5.1 Adições pozolânicas

De acordo com a NBR 12653 (ABNT, 1992), o material pozolânico é um material silicoso ou sílico-aluminoso, que em si mesmo possui pouca ou nenhuma propriedade cimentante, mas, numa forma finamente dividida e na presença de umidade, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento, a temperaturas ambientes, para formar compostos com propriedades cimentantes. Ainda, segundo a NBR 12653 (ABNT, 1992), os materiais pozolânicos são divididos em três classes (Classe N, Classe C e Classe E): os materiais pozolânicos da Classe N são as pozolanas naturais e artificiais que obedecem aos requisitos aplicáveis na NBR 12653 (ABNT, 1992), como certos materiais vulcânicos de caráter petrográfico ácido, “cherts” silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas. Os da Classe C são as cinzas volantes produzidas pela queima de carvão mineral em usinas termoelétricas, que obedecem também aos requisitos aplicáveis nesta NBR. Por último o material da Classe E, é qualquer pozolana cujos requisitos diferem das classes anteriores.

Em função da origem, a NBR 12653 (ABNT, 1992) classifica as pozolanas da seguinte forma:

- pozolanas naturais: materiais de origem vulcânica, geralmente de caráter petrográfico ácido (65% de SiO_2) ou de origem sedimentar com atividade pozolânica;

- pozolanas artificiais: materiais provenientes de tratamento térmico ou subprodutos industriais com atividade pozolânica;
- argilas calcinadas: materiais provenientes de calcinação de certas argilas submetidas a temperaturas, em geral, entre 500 e 900°C, de modo a garantir sua reatividade com hidróxido de cálcio;
- cinzas volantes: resíduos finamente divididos com atividade pozolânica que resultam da combustão do carvão mineral pulverizado ou granulado;
- outros materiais não tradicionais, tais como: escórias siderúrgicas ácidas, cinzas de resíduos vegetais, rejeito de carvão mineral.

A atividade pozolânica abrange dois parâmetros: a quantidade máxima de hidróxido de cálcio que pode reagir com a pozolana e a taxa que tal combinação se processa. A combinação de Ca(OH)_2 com a pozolana em presença da água varia com: conteúdo da pozolana na mistura e teor de Sílica (SiO_2) ativo na pozolana. A taxa de reação varia com: área superficial da pozolana, reação sólido-água na mistura e temperatura (CORDEIRO, 2008). Para que ocorra atividade pozolânica é necessário que a sílica e a alumina não estejam em elevado grau de cristalinidade (NEVILLE, 1982). Assim, a sílica amorfa presente na pozolana reage com o Ca(OH)_2 presente no cimento formando Silicatos de Cálcio Hidratados (C-S-H).

A utilização de pozolanas traz benefícios para diversas propriedades do concreto. Por se tratar de um material extremamente fino, sua adição proporciona: um

efeito físico através do tamponamento dos poros, diminuindo o volume de vazios, e um efeito químico, pela produção de silicato de cálcio hidratado, através das reações pozolânicas.

A norma brasileira NBR 12653 (ABNT, 1992) define os ensaios para determinação da atividade pozolânica que devem ser realizados de acordo com a tabela 3.8:

Tabela 3.8 - Ensaios para a determinação da atividade pozolânica.

Ensaio	Normatização
Análise química	NBR 8347 / 1992
Teor de umidade	NBR 8801 / 1992
Perda ao fogo	NBR 5743 / 1989
Álcalis disponíveis	NBR 12652 / 1992
Material retido na peneira 0,44mm	NBR 9202 / 1985
Índice de atividade pozolânica	NBR 5752 / 1992
Retração por secagem	NBR 12650 / 1992
Reatividade com álcalis do cimento	NBR 12651 / 1992
Massa específica	NBR 6474 / 2000
Finura	NBR 9202 / 1985

Segundo Fonseca (2010), a sílica ativa é umas das adições minerais de maior reatividade, graças ao tamanho extremamente pequeno de suas partículas e à sua natureza amorfa. Suas partículas são esféricas, de diâmetro cem vezes menor que o do cimento. Por terem uma área específica elevada e granulometria mais fina que os cimentos, as partículas da sílica ativa densificam a zona de transição por ação física e química, gerando uma microestrutura mais densa e homogênea, com reduzido volume de vazios. Ainda segundo Callister (2006), a

diferença entre a sílica amorfa e sílica cristalina, é que na fase amorfa a estrutura é desordenada e irregular. Conforme mostra na figura 3.16, a estrutura se torna cristalina ou amorfa de acordo com a facilidade que sua estrutura atômica aleatória consegue se ordenar quando passa da fase líquida para a sólida. Outro ponto importante é que o resfriamento rápido a temperaturas inferiores à temperatura de congelamento favorece a formação da fase amorfa, devido ao pouco tempo disponível para a ordenação dos átomos.

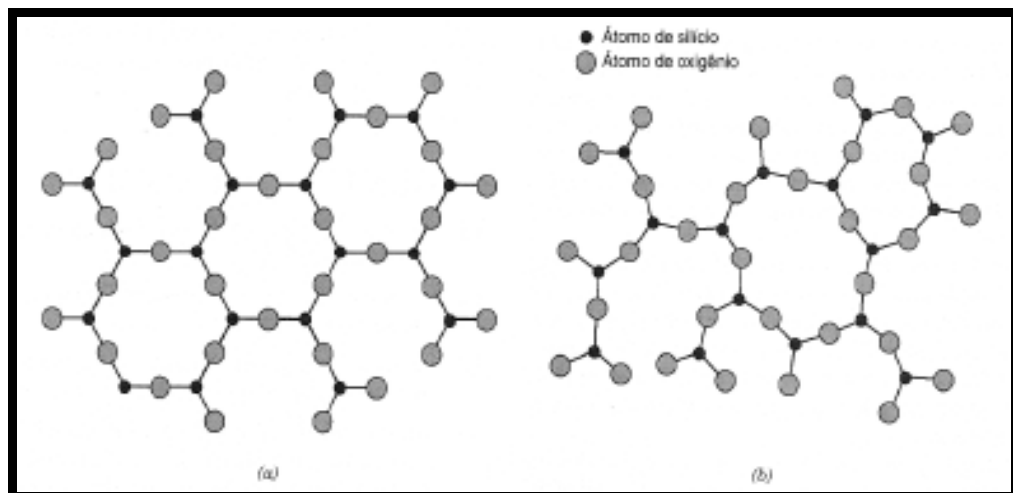


Figura 3.16 - Esquemas bidimensionais para a estrutura do (a) dióxido de silício cristalino e do (b) dióxido de silício não cristalino. Fonte: (CALLISTER, 2006).

3.2.5.2 Material cimentante

Segundo Fonseca (2010), O material cimentante é aquele capaz de formar produtos cimentantes, como o C-S-H, sem a necessidade do hidróxido de cálcio presente no cimento Portland. Sua auto-hidratação é lenta, porém quando usado como adição ou substituição em cimento Portland, sua hidratação é acelerada na presença de hidróxido de cálcio e gipsita, como é o caso da escória granulada de alto-forno. Segundo (NEVILLE, 1982 *apud* FONSECA, 2010), a escória de alto-forno é um subproduto não-metálico da produção de ferro-gusa em altos-fornos, obtido pela reação, em elevadas temperaturas, do minério de ferro, fundentes e cinzas de carvão vegetal ou carvão mineral (coque). Este material constitui-se de uma mistura de cal, sílica e alumina, ou seja, os mesmos óxidos que constituem o cimento Portland, porém em proporções diferentes.

3.2.5.3 Fíler

De acordo com ISAIA *et al.* (2003), fíler é um material finamente dividido sem atividade química, com diâmetro médio próximo ao do cimento Portland, cuja atuação é basicamente um efeito físico de empacotamento granulométrico dos grãos do cimento melhorando algumas propriedades do concreto: trabalhabilidade, massa específica, permeabilidade, a exsudação e a tendência à

fissuração. São materiais inertes, mas podem apresentar alguma atividade hidráulica ou participar de reações com os compostos do clínquer.

Segundo (DAL MOLIN, 2005 *apud* SOARES, 2010), o efeito físico do fíler também está associado à alteração da microestrutura da zona de transição, pois as adições interferem na movimentação das partículas de água, reduzindo ou eliminando o acúmulo de água livre, que normalmente fica retido sob os agregados. Além de contribuir para a redução da zona de transição pela redução da exsudação, a adição pode interferir no crescimento dos cristais de hidróxido de cálcio, restringindo seus tamanhos e reduzindo o grau de orientação junto ao agregado.

Segundo (PETRUCCI, 1995 *apud* FONSECA, 2010), utiliza-se o fíler principalmente nos seguintes casos: espessador de asfaltos fluidos; fabricação de mastiques betuminoso; preparação de argamassas betuminosas; preparação de concretos hidrocarbonatos; adição a cimentos; fabricação de borracha artificial; adição a concretos com consumos baixos de cimento para colmatar os vazios.

3.3 Cinza do Bagaço da cana-de-açúcar (CBCA)

3.3.1 Produção da cinza do bagaço de cana-de-açúcar

Para cada tonelada de bagaço de cana-de-açúcar usado nas usinas sucroalcooleiras que é incinerado nas caldeiras para cogeração de energia, são produzidos por volta de 25 quilos de cinzas. A cinza da queima do bagaço é o último resíduo gerado pela cadeia da cana-de-açúcar. Segundo Sales (2010), por dia, são produzidos 10 mil toneladas de cinzas, sendo seis mil toneladas só no Estado de São Paulo. Por ano, em média, 3,8 milhões de toneladas de cinza do bagaço da cana-de-açúcar são descartados em aterros sanitários. Na figura 3.17, destacamos um fluxograma simplificado das principais etapas da produção de cinza de bagaço de cana-de-açúcar:

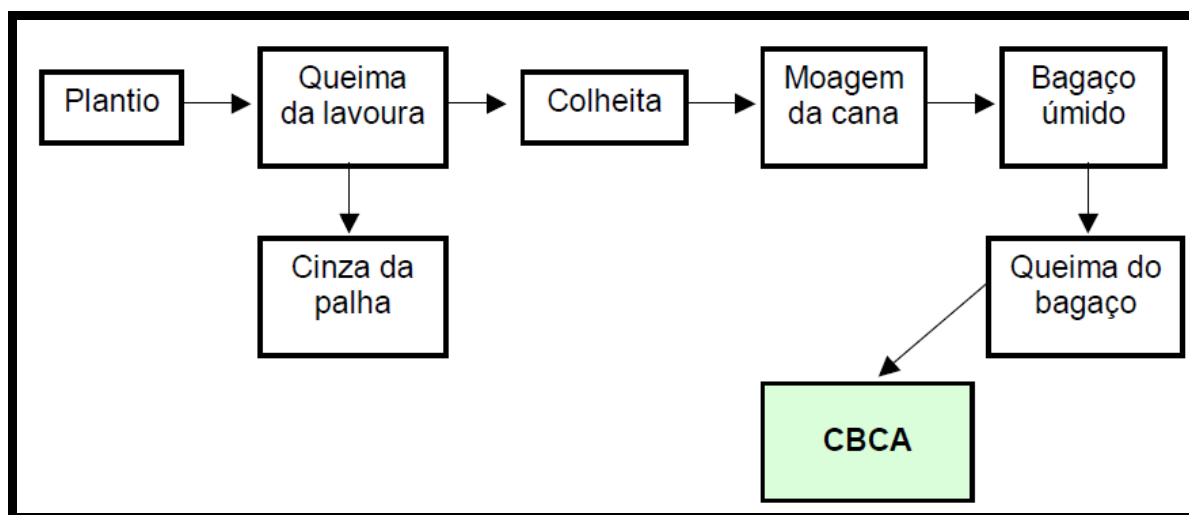


Figura 3.17 - Fluxograma simplificado da produção de cinza de bagaço de cana-de-açúcar CBCA. Fonte: (POGGIALI, 2010).

Segundo a UNICA (2013), o Brasil mantém uma média de crescimento da produção da cana-de-açúcar superior a 7% ao ano, devido à expansão e a necessidade do mercado consumidor, o que implica no aumento da queima de bagaço, levando ao acréscimo de geração da CBCA.

Há necessidade de se difundir a pesquisa e o uso da CBCA devido ao grande potencial de sua utilização em substituição a materiais não sustentáveis, grande quantidade existente e a facilidade de sua obtenção nas usinas.

A produção de cana-de-açúcar se concentra nas regiões Centro-Sul e Nordeste do Brasil. Por isso, um projeto de reaproveitamento da CBCA não é viável em regiões afastadas das áreas produtoras devido a altos custos de logística. A figura 3.18, destaca o mapa onde mostra em vermelho as áreas onde se concentram as plantações e usinas produtoras de açúcar, etanol e bioeletricidade, segundo dados oficiais do IBGE, UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas – SP) e do CTC (Centro de Tecnologia Canavieira):

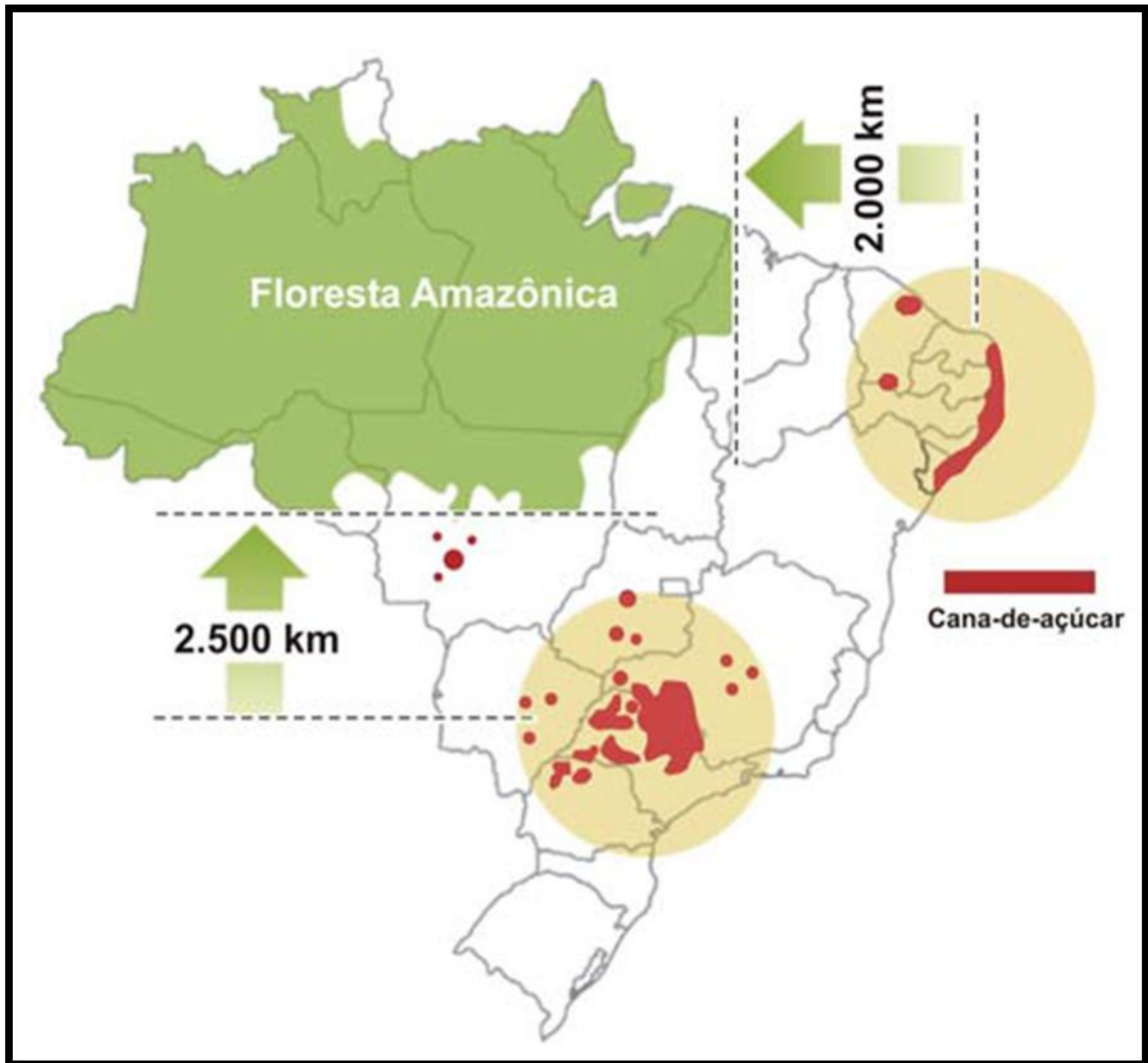


Figura 3.18 - Mapa da distribuição da cana-de-açúcar no Brasil. Fonte: (UNICA, 2009).

3.3.2 Características das cinzas

Segundo Sales (2010), a caracterização física microscópica das cinzas do bagaço têm um perfil muito próximo ao da areia natural, com uma porção cristalina e um alto teor de sílica (SiO_2 acima de 70%). Na tabela 3.9, esse teor de sílica varia segundo diferentes autores e locais de coleta da cinza:

Tabela 3.9 - Teor de sílica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar, segundo diversos autores
 Fonte: (POGGIALI *et al.*, 2010).

Autor	Ano	Local de Coleta	País	Teor de SiO ₂ (%)
Baguant	1995	Port Louis	Is. Maurício	73,10
Martirena-Hernández <i>et al.</i>	1998	Villa Clara	Cuba	72,74
Singh; Singh; Rai	2000	Captainganj, District Kushinagar	Índia	63,16
Payá <i>et al.</i>	2002	Valle del Cauca	Colômbia	59,87
Zardo <i>et al.</i>	2004	Araras, SP	Brasil	77,30
Freitas	2005	Campos dos Goytacazes, RJ	Brasil	65,70
Paula	2006	Uracânia, MG	Brasil	83,71
Cordeiro	2006	São João da Barra, RJ	Brasil	78,34
Borlini <i>et al.</i>	2006	Campos dos Goytacazes, RJ	Brasil	77,50
Mu' Azu	2007	Não mencionado	Nigéria	57,95
Ganesan; Rajagopal;	2007	Aranthangi, TamilNadu	Índia	64,15
Santos; Formagini	2008	Sidrolândia, MS	Brasil	83,80

Segundo Pádua (2012), as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar contêm entre outros elementos: carbono, alumínio e alto teor de silício, normalmente acima de 60%, em massa.

As características mineralógicas são o que difere essas cinzas, ou seja, é a forma em que a sílica é encontrada: amorfa ou cristalina. Essas cinzas podem apresentar alto teor de sílica amorfa, sendo assim adequadas para a produção de concretos mais resistentes e menos porosos. No caso de serem cristalinas, podem atuar como fíler e melhorar as propriedades do concreto. O silício é absorvido do solo pelas raízes da cana-de-açúcar na forma de ácido monossílico (H₄SiO₄) e, após a saída da água das plantas pelo processo de transpiração, deposita-se na parede externa das células da epiderme como sílica gel (CORDEIRO, 2006).

De acordo com Soares (2010), dependendo do tipo do solo utilizado (grau de contaminação do bagaço pela areia do solo), da espécie de cana cultivada, das condições de queima do bagaço e da granulometria das cinzas, as características físico-químicas das cinzas se alteram, tornando-as adequadas ou não para uso em materiais cimentícios podendo proporcionar ao material, atividade pozolânica e efeito filler.

De acordo com Pádua (2012), a cor da cinza é indicativa do grau de calcinação a que o bagaço foi submetido e, conseqüentemente, ao seu teor de carbono. Na figura 3.19, temos uma cinza que apresenta estrutura bastante porosa e contaminada com a presença de quartzo. O carbono confere uma microporosidade e irregularidade na cinza, responsáveis pelos altos valores de área de superfície específica. Além disso, o processo não controlado de incineração do bagaço da cana-de-açúcar produz cinzas com altos teores de matéria orgânica e carbono.

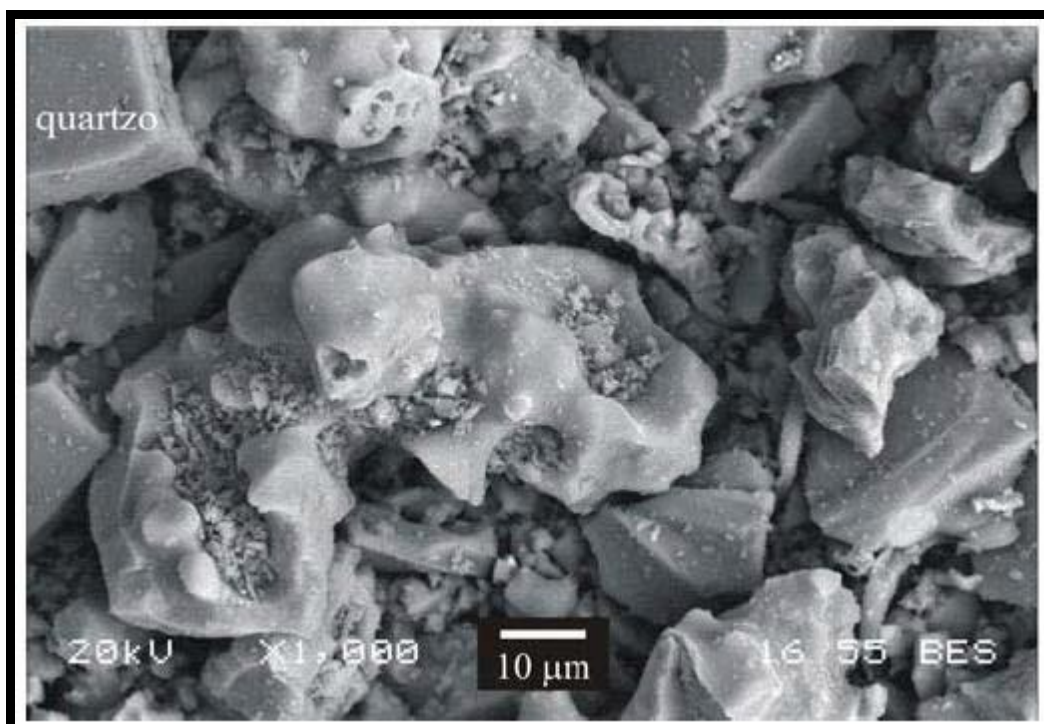


Figura 3.19 - Morfologia das partículas da CBCA. Fonte: (CORDEIRO, 2006).

3.3.3 Queima e moagem da cinza

A maior barreira para a utilização e adoção da CBCA em grande escala seria a falta de padronização na queima do bagaço e conseqüente obtenção de grande variedade de cinzas com diferentes propriedades. A temperatura de combustão de resíduos agrícolas determina o surgimento de fases amorfas ou cristalinas da sílica presente nas cinzas (TASHIMA, 2006). Então a temperatura e o tempo de queima da cinza é o principal fator determinante para se obter um material amorfo e reativo.

Segundo (GANESAN *et al.*, 2007), as cinzas de resíduos agrícolas devem ser produzidas com temperaturas de queima abaixo de 700°C, por uma hora, para que o conteúdo de sílica das cinzas se transforme em fase amorfa. De acordo com Pádua (2012) mostrado na tabela 3.10, o processo da queima do bagaço tem suas propriedades alteradas, à medida que a temperatura aumenta: até 100°C, observa-se perda de massa com evaporação da água; entre 100°C e 350°C, inicia a ignição e queima do bagaço da cana-de-açúcar; entre 400 e 500°C, o carbono é oxidado, observando a perda mais substancial da massa; entre 500°C e 700°C, a cinza torna-se rica em sílica amorfa; entre 700°C e 800°C, temos a formação de quartzo e outras formas cristalinas; acima de 800°C, a sílica presente na cinza de bagaço de cana-de-açúcar é essencialmente cristalina. Nos estudos de Cordeiro (2006), a temperatura de queima de 600°C possibilitou geração da cinza mais reativa.

Tabela 3.10 - Influência das temperaturas de queima do bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades da cinza gerada. Fonte: (PÁDUA, 2012).

Temperatura de queima do bagaço de cana-de-açúcar (T)	Modificações ocorridas durante o processo de queima do bagaço
< 100°	A perda de massa do material é consequência da evaporação da água absorvida.
± 350°	A queima do bagaço de cana-de-açúcar se inicia através da ignição do material mais volátil.
400° < T < 500°	Maior perda de massa, onde o carbono residual é oxidado. A cinza torna-se rica em sílica amorfa.
> 700°	Pode levar à formação de quartzo ou de outras formas cristalinas.
> 800°	A sílica presente na cinza do bagaço de cana é essencialmente cristalina.

Segundo Soares (2010), estudos de temperaturas e tempos ótimos de calcinação são necessários para se obter um maior grau de amorficidade e de reatividade. A amorficidade e a finura estão diretamente ligadas por variáveis, como: o tempo da combustão, a temperatura de calcinação, velocidade de aquecimento e resfriamento. Mesmo com resultados satisfatórios, algumas pesquisas apontaram que a alta temperatura de queima e a combustão incompleta nas caldeiras reduziram a reatividade da cinza em função do elevado teor de carbono e da presença da sílica em estado estrutural cristalino (CORDEIRO *et al.*, 2009).

Também é importante salientar que o processo de moagem tem que atingir um tempo ideal, para aumentar a superfície de reatividade da cinza e conseqüente uma maior pozolanicidade. Além disso, a cinza deve obter um tamanho suficiente pequeno para melhorar suas propriedades mecânicas e trabalhar como filer quando adicionado à argamassa. Nas figuras 3.20 e 3.21, podemos verificar a diferença característica entre a cinza não moída e a cinza após a moagem:

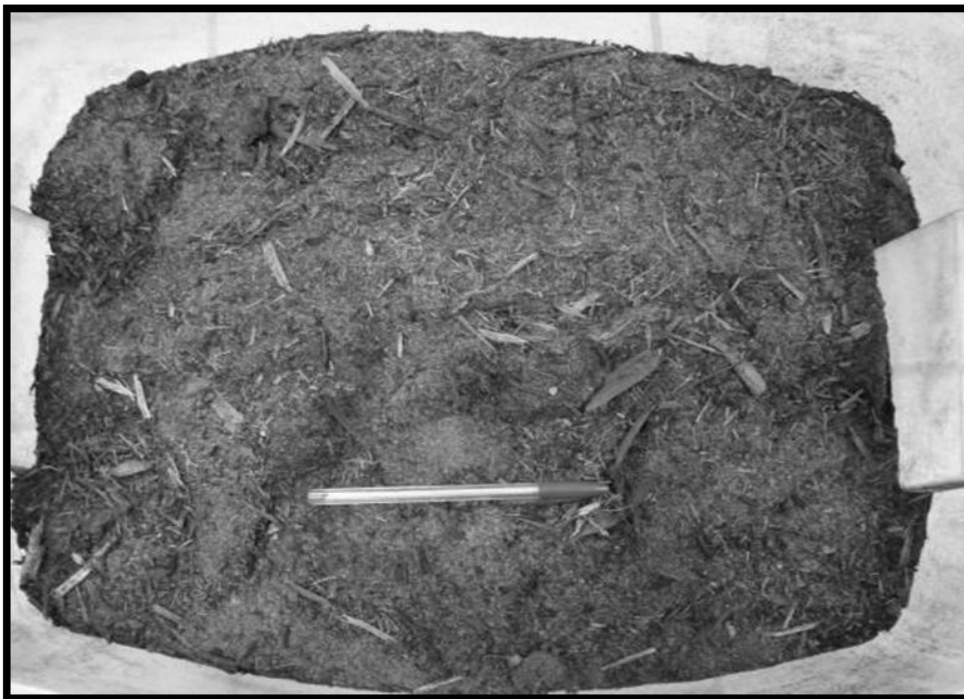


Figura 3.20 – Aspecto da cinza antes de moída. Fonte: (SALES *et al.*, 2011).

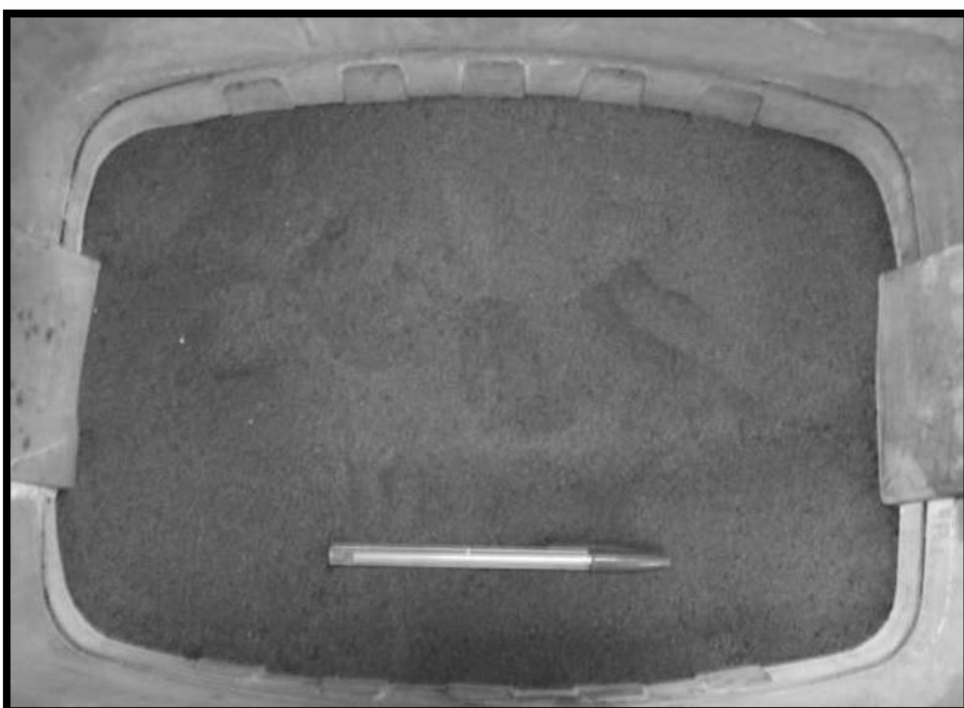


Figura 3.21 - Aspecto da cinza após moagem. Fonte: (SALES *et al.*, 2011).

4. COMPARAÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO APRESENTADOS

4.1 Estudos do 1º caso

4.1.1 Substituição da areia pela CBCA em argamassa

A cinza da queima do bagaço da cana foi estudada pela equipe coordenada pelo engenheiro civil Almir Sales, professor da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), e os resultados mostram que esse resíduo poderá ter um destino ambientalmente adequado, e se transformar num importante insumo na fabricação de argamassa e concreto para uso na construção civil. A argamassa feita com cinzas de bagaço em substituição a areia poderá, em princípio, ser utilizado na maioria das aplicações em construção civil. Mesmo em estado estrutural cristalino e com pouca reatividade hidráulica, a CBCA tem se mostrado um subproduto viável para aplicação em materiais de construção, ainda que sejam observadas suas características intrínsecas, como alto teor de sílica em forma de quartzo, um dos principais elementos presentes na areia natural (CORDEIRO, 2008).

Segundo Sales *et al.* (2009), avaliaram as propriedades mecânicas de argamassas de acordo com a variação dos teores de substituição da areia pela

CBCA, segundo o ensaio de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos, utilizando os seguintes critérios:

- *Aquisição das cinzas para estudo em pelo menos quatro usinas próximas;
- *Análise das amostras quanto à composição química, granulometria, difratometria de raios X, lixiviação e solubilização;
- *Secagem em estufa a 100°C, por 12h e moagem durante três minutos em moinho tipo almofariz-pistilo para homogeneizar a amostra;
- *Verificar qual usina possui o melhor material para trabalho, levando em consideração a granulometria da cinza e teores de sílica, chumbo e cádmio;
- *Confecção dos corpos de prova (\varnothing 5 cm x 10 cm altura), substituindo a areia pela cinza em diferentes percentagens: 0%, 10%, 15%, 20%, 30%, 50% e 100%;
- *Foram moldados 3 corpos de prova para cada traço de substituição;
- * Os materiais utilizados foram o cimento Portland CPV ARI RS, areia quartzosa, e água, no traço 1:3 em massa, fator a/c = 0,55;
- *Execução dos ensaios de rompimento com 7, 14 e 28 dias.

4.1.2 Resultados do 1º caso

*Todas as substituições em massa da areia natural pelas CBCA preservaram as características físicas e mecânicas da argamassa e do concreto aumentando sua resistência à compressão em relação à amostra sem substituição, exceto a amostra com substituição de 100% da areia;

*A maior resistência alcançada foi na proporção de 20% de substituição de areia pela cinza;

*A trabalhabilidade permaneceu constante para todas as amostras, com exceção das argamassas com 100% de substituição de areia por cinza, devido a menor massa específica da CBCA, o que requer mais água de amassamento para manter a mesma trabalhabilidade.

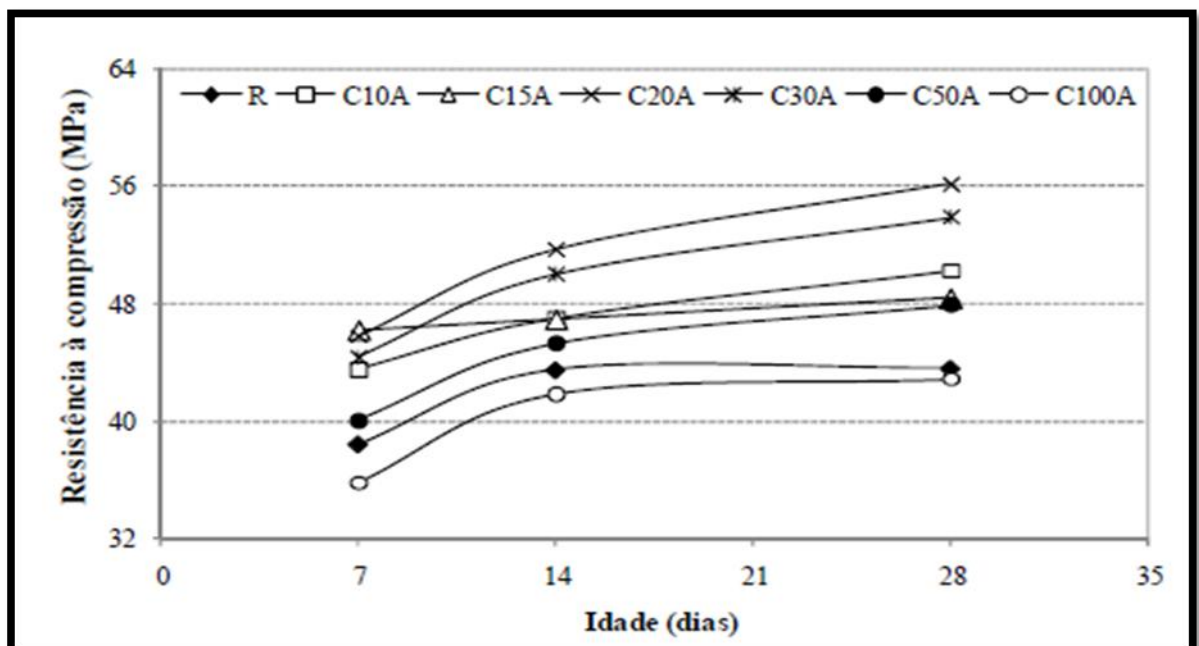


Figura 4.1 – Resistência à compressão dos corpos de prova aos 7, 14 e 28 dias com a substituição da areia pela CBCA nas percentagens 0%, 10%, 15%, 20%, 30%, 50% e 100%. Fonte : (SALES *et al.* 2009).

4.2 Estudos do 2º caso

4.2.1 Substituição da areia pela CBCA em concreto

De acordo com Sales *et al.* (2010), por conta dos resultados promissores a cerca do estudo feito com a substituição da areia por CBCA em argamassa, trabalharam também com a substituição da areia pela CBCA para análise das propriedades em concreto. A metodologia utilizada foi semelhante ao primeiro estudo realizado:

* Coletou amostras de cinza do bagaço da cana-de-açúcar CBCA em quatro usinas do Grupo COSAN do Estado de São Paulo;

*As amostras de CBCA foram caracterizadas quanto à composição química e física;

*Secagem em estufa a 100°C, por 12h, e moagem durante três minutos em moinho tipo almofariz-pistilo para homogeneizar a amostra;

*Foram confeccionadas três séries de concretos, cada uma com um tipo de cimento – CPV (alta resistência inicial), CPIII 40 (pozolânico) e CPII 32 (composto) - e com 0%, 30% e 50% de CBCA em substituição ao agregado miúdo. O consumo de cimento e teor de argamassa foi mantido constante;

*Foram usado cimento, areia, brita basáltica, CBCA e água.

*Confecção dos corpos de prova (Ø 10 cm x 20 cm altura);

*Ensaio com 7, 14 e 28 dias.

4.2.2 Resultados do 2º caso

*Segundo Sales *et al.* (2010), nas séries A e B, os valores de referência foram maiores que os valores de resistência dos concretos com CBCA, aos 28 dias.

*Os concretos da série “B”, confeccionados com o CP III 40, obtiveram os resultados menos expressivos e não conseguiram ultrapassar o valor de 30 MPa, que é apenas 75% da resistência de dosagem inicial.

*A série “C”, confeccionada com cimento CP II 32, obteve os melhores resultados individuais de resistência à compressão aos 28 dias, se comparado ao valor da resistência de dosagem, no valor de 32 MPa. Além disso, obtiveram valores de resistência à compressão maiores que o referência.

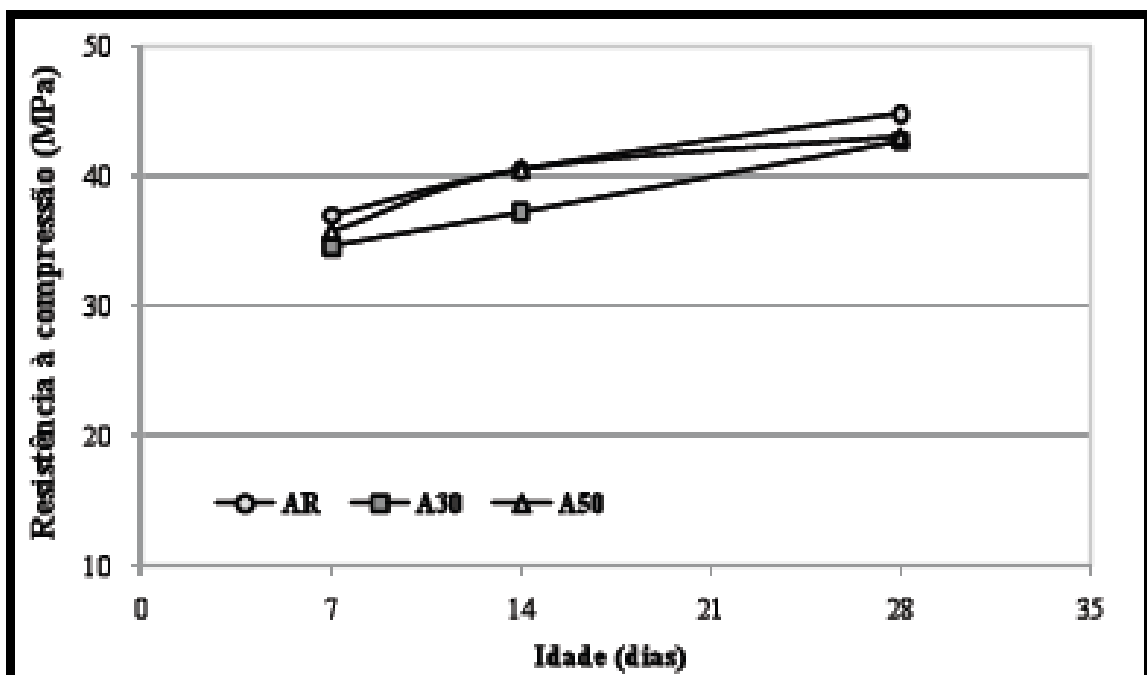


Figura 4.2 - Resistência à compressão dos concretos da série A – Cimento CPV, aos 7,14 e 28 dias com a substituição da areia pela CBCA nas percentagens 0%, 30%, 50%. Fonte: (SALES *et al.*, 2010).

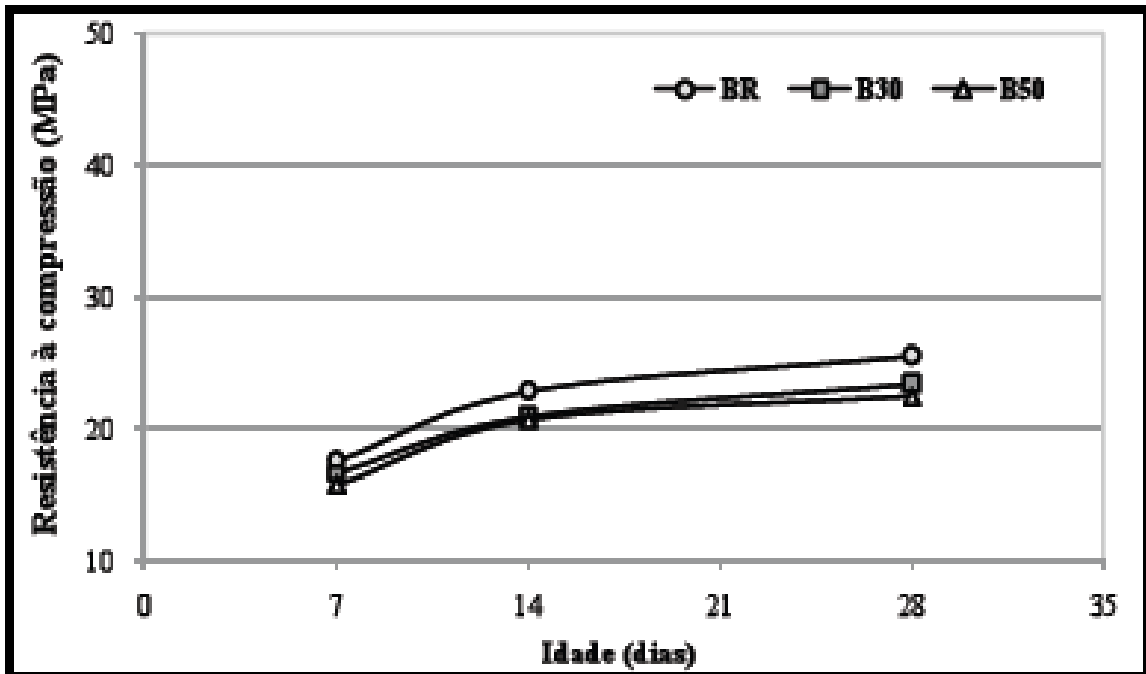


Figura 4.3 - Resistência à compressão dos concretos da série B – Cimento CPIII 40, aos 7,14 e 28 dias com a substituição da areia pela CBCA nas percentagens 0%, 30%, 50%. Fonte: (SALES *et al.*, 2010).

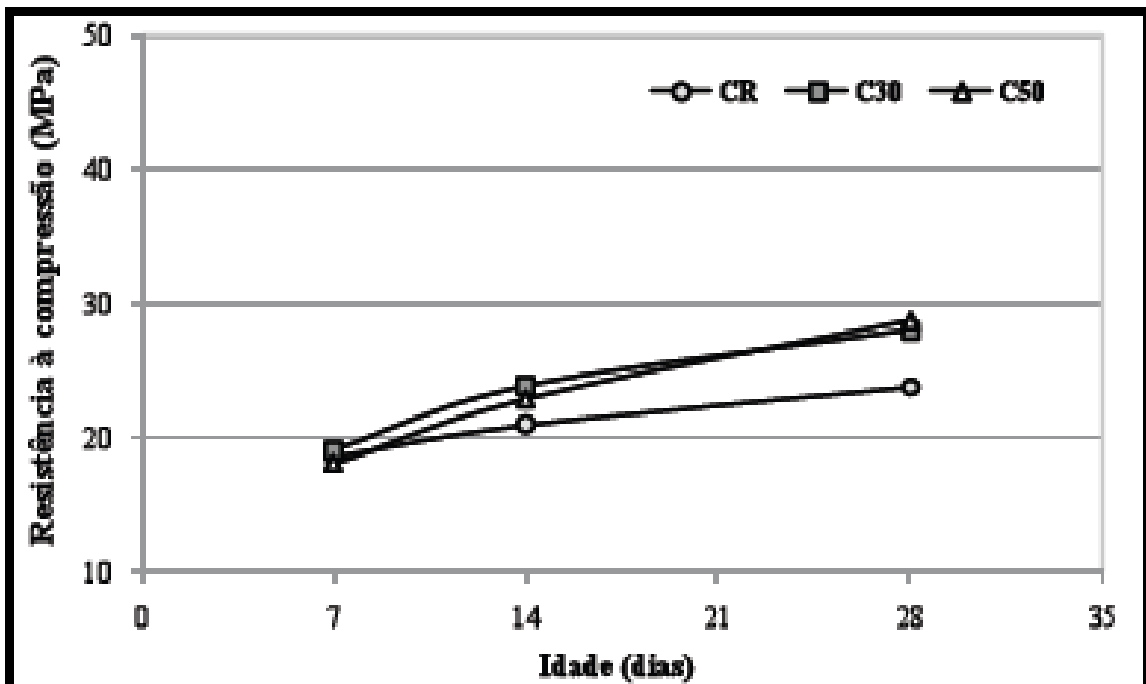


Figura 4.4 - Resistência à compressão dos concretos da série C – Cimento CPII 32, aos 7,14 e 28 dias com a substituição da areia pela CBCA nas percentagens 0%, 30%, 50%. Fonte: (SALES *et al.*, 2010).

4.3 Estudos do 3º caso

4.3.1 Substituição da areia pela CBCA em blocos vazados de concreto

Esse estudo teve como base o pensamento de sustentabilidade empresarial, buscando o desenvolvimento da sociedade e ao mesmo tempo contribuindo com o meio ambiente. Segundo Silva *et al.* (2011), estudaram o uso de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como substituto parcial da areia nas proporções de 15%, 20% e 25% do volume, para produção de blocos vazados modulares de concreto.

Apesar dos resultados de resistência à compressão das amostras com cinzas apresentarem queda em relação à amostra de referência, os autores acreditam que o uso de cinza de bagaço de cana-de-açúcar seja viável economicamente. Em certos casos, este aspecto pode ser compensado pela redução da massa total do bloco obtido com o uso das cinzas, trazendo benefícios estruturais.

Ainda de acordo com Silva *et al.* (2011), a substituição de parte da areia por CBCA exige uma maior quantidade de água na mistura, tornando necessária uma modificação no traço padrão estabelecida para cada porcentagem.

O estudo realizado seguiu os seguintes critérios:

*Queima do bagaço em forno a cerca de 400°C por 12 horas;

*Peneiramento da CBCA para obter a mesma granulometria da areia (peneira 16 = 1,18mm);

*Moldagem dos blocos vazados de concreto com a substituição de areia pela cinza nas proporções de 0%, 15%, 20% e 25%;

*Foram usados cimento, areia, pó de pedra, CBCA e água.

*Foi utilizado o Cimento Poty CPII 32 e o consumo de cimento foi mantido constante;

*Foram confeccionados seis blocos para cada percentagem de adição no total de 24 blocos;

*Execução dos ensaios de resistência à compressão com 7, 14, 21 e 28 dias.

*Execução do processo de cura úmida, realizada duas vezes por dia durante os três primeiros dias após a moldagem;

4.3.2 Resultados do 3º caso

*Todos os blocos vazados moldados com substituições em massa da areia natural pelas CBCA, resultaram resistências inferiores as dos blocos sem adição da CBCA;

*O traço em que se substituiu 20% da areia por cinza, foi o que obteve valores de resistência mais próximos aos valores de referência.

*Apesar da resistência dos blocos com adição da CBCA serem inferiores aos valores de referência, a CBCA diminui o peso do concreto trazendo benefícios estruturais, além de reduzir o consumo de agregados refletindo na redução de gastos de material e maior economia.

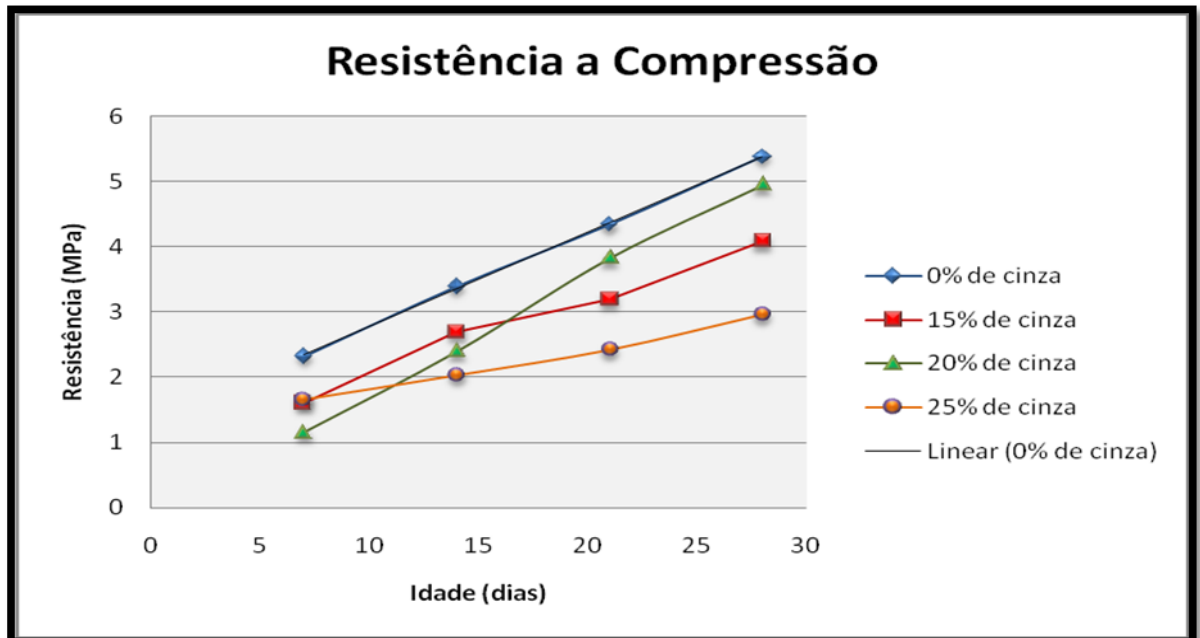


Figura 4.5 – Resistência à compressão dos blocos vazados aos 7,14, 21 e 28 dias com a substituição da areia pela CBCA nas percentagens 0%, 15%, 20%, 25%. Fonte: Silva *et al.* (2011).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseando-se nos dados coletados, conclui-se que o cultivo da cana-de-açúcar e o uso do bagaço como biomassa, para a produção de eletricidade e etanol como fontes de energia limpas e renováveis, proporciona um saldo positivo na reabsorção de CO₂ liberados no ambiente durante a queima do bagaço. Além disso, ao se comparar com outras formas de geração de eletricidade, a energia produzida em usinas de álcool e açúcar apresenta os mais baixos valores de emissão de CO₂.

A cogeração de energia elétrica através da biomassa do bagaço de cana é necessária devido à alta demanda energética para as próximas décadas, e totalmente viável, devido sua rápida inserção na matriz energética, com investimentos e prazos de retorno relativamente baixos, com impactos ambientais praticamente nulos e com enorme potencial energético a ser explorado, além de aproveitar um resíduo que era descartado no meio ambiente com a utilização de uma matéria prima que tem custo zero.

Além disso, embora o país possua grande participação de energias renováveis em sua matriz, a indústria automobilística é extremamente dependente dos combustíveis fósseis, o que reforça ainda mais a necessidade de incentivar o aumento da produção e consumo do bioetanol como energia renovável.

No primeiro trabalho do engenheiro Almir Sales, ele substituiu parte da areia pela CBCA na proporção de 10% a 100%, para produzir os corpos-de-prova cilíndricos em argamassa, e obteve um aumento na resistência do concreto em relação ao corpo-de-prova sem a substituição para todas as proporções, exceto com 100% de substituição. A melhor resistência alcançada foi com a substituição de 20% da areia. O efeito de empacotamento físico das partículas de cinza pode explicar o fato das argamassas com substituição da areia pela CBCA, terem obtido valores até 25% acima dos valores de referência no primeiro estudo.

No segundo trabalho de Sales, os corpos de prova foram confeccionados com concreto e três tipos de cimento: CPV, CIII e CII. Os corpos de prova produzidos com cimento CII foram os únicos que obtiveram valores de resistência à compressão maior que a referência.

No terceiro estudo feito por Silva *et al*, foi substituído parte da areia pela CBCA para confecção de blocos de concreto, e obteve taxas de resistência inferiores em relação aos blocos sem a substituição. A CBCA trabalha como fíler, preenchendo os vazios e aumentando a resistência, no caso do corpo-de-prova maciço ou peças maciças. O mesmo não aconteceu com o bloco vazado, que por sua vez, possui mais espaços vazios que o corpo-de-prova, e a CBCA não conseguiu o efeito fíler esperado.

Para moldar o bloco vazado, necessitamos de um concreto mais adensável na fôrma do que para moldar um corpo-de-prova. Como a massa específica da CBCA é menor que a da areia, a mistura com cinza requer mais água de

amassamento para manter a mesma trabalhabilidade da areia, e com isso, a água aumenta os espaços vazios na peça e contribui para diminuição da resistência, quando se adiciona maiores quantidades de CBCA. É o que aconteceu no bloco vazado, que não superou a resistência dos blocos moldados sem a CBCA. Apesar disso, a CBCA diminui o peso do concreto trazendo benefícios estruturais, além de reduzir o consumo de agregados refletindo na redução de gastos de material e maior economia.

A substituição de areia por cinza na porcentagem de 20% é a mais indicada para corpos-de-prova confeccionados em argamassa e os blocos de concreto;

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*ABESC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM. *Manual do Concreto Dosado em Central*. (2007). Disponível em: <<http://www.abesc.org.br>> acesso em 10 nov. 2013.

*AGEITEC – AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. *Processamento da cana-de-açúcar*. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_102_22122006154841.html> acesso em 15/09/2013.

*ALMEIDA, A. F. *Impactos Ambientais da Agroindústria da cana-de-açúcar: Subsídios para a Gestão*. Monografia (Especialização), Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil, 131 p. 2007.

*ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Bioeletricidade atinge o equivalente a uma Belo Monte em potência instalada*. Disponível em: <www.novacana.com> acesso em 22 nov. 2013.

*ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 12653: Materiais pozolânicos. Rio de Janeiro, 1992.

*ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 12655: Concreto – preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 1996.

*ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 7212/2012: Execução de concreto dosado em central – Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

**Bagaço da cana-de-açúcar como exemplo de biomassa*. Disponível em <<http://www.mspa.mu/index.php?rubrique=15>> acesso em 20/10/2013.

*BASTOS, P. S. S. *Fundamentos do Concreto Armado*. Notas de aula. Universidade Estadual Paulista, Bauru/SP, 92p., 2006.

*BAUER, L. A. FALCÃO; *Materiais de Construção*. Ed. Livros Técnicos e Científicos Ltda., 5º Ed., Rio de Janeiro. V. 1, 2010, 471 p.;

*BEN – BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2012. *Repartição da Oferta Interna de Energia*. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br>> acesso em 15 nov. 2013.

**Biomassa no Bagaço*. Disponível em: <<http://revistagalileu.globo.com>> acesso em 17 nov. 2013.

*CALLISTER, W. D. Jr. *Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais*. 2º ed. Rio de Janeiro: LCT, 2006.

*CARDOSO, T. F. *Cogeração de energia através do bagaço de cana-de-açúcar: revisão de literatura*. Monografia (Mestrado) Universidade Federal de São Carlos, Sertãozinho/SP, 22p, 2011.

*COELHO, S. T. *Mecanismos para implementação da cogeração de eletricidade a partir de biomassa. Um modelo para o Estado de São Paulo*. Tese de D.Sc., Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 200 p, 1999.

*COGEN – ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. *Cogeração de Energia*. Disponível em <http://www.cogen.com.br/cog_conceito.asp> acesso em 26 nov. 2013.

*CORDEIRO, G. C. *Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto*. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2006.

*CORDEIRO, G. C. *Pozzolan Activity and Filler Effect of Sugar Cane Bagasse Ash in Portland Cement and Lime Mortars*. *Cement and Concrete Composites*, v. 30, n. 5, p. 410-418, 2008.

*CORTEZ, L.; MAGALHÃES, P.; HAPPI, J. *Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização*. *SBPE – Sociedade Brasileira de Planejamento Energético – Revista Brasileira de Energia*, Vol. 2 - nº 2, 1992.

**Etanol (Álcool): Tudo sobre esse combustível*. Disponível em <www.novacana.com> acesso em 20 nov. 2013.

*FILHO, A. G.; *A energia que vem do bagaço*. Disponível em: <http://www.portaljj.com.br/interna.asp?Int_IDSecao=1&Int_Id=71580> acesso em 05 nov. 2013.

*FOLHA WEB. (2011). *Empresas denunciam extração ilegal de seixo e areia em Caracará*. Disponível em: <<http://www.folhabv.com.br/noticia.php?id=103904>> acesso em 20 nov. 2013.

*FONSECA, G. C.; *Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica*. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

*GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. *Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material*. *Cement and Concrete Composites, Barking*, v. 29, p. 515-524, 2007.

*GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. *Energias renováveis: um futuro sustentável*. *Revista USP*, n. 72, p. 6-15, São Paulo/SP, 2007.

*GOMES, A. M.. *Notas em sala de aula*. 2013.

- *GUMIERI, A. G. *Notas em sala de aula*. 2013.
- *ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G.; MORAES, R. *Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete*. *Cement & Concrete Composites* 25, 69-76, 2003.
- *KIHARA, Y; CENTURIONE, S. L.; *O Cimento Portland*. In: *CONCRETO: Ensino, pesquisa e realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 295-322.
- *LUZ, A. B.; LINS, F. F. *Areia Industrial - Comunicação Técnica elaborada para Edição do Livro Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações*. Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia Mineral, 2005. p. 107-126.
- *MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais*. 1^o ed. São Paulo: PINI, 1994. 581 p.
- *MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 3^o ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.
- *MSPA - *Mauritius Sugar Producers' Association*. Disponível em <<http://www.mspa.mu/index.php>> acesso em 20/10/2013.
- *NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. 1 ed. São Paulo: Pini, 1982. 738 p.
- *NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. 2 ed. São Paulo: Pini, 1977. 828 p.
- *ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Valor e produção da cultura de cana-de-açúcar dos 20 principais produtores mundiais em 2010*. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Cana-de-a%C3%A7%C3%BAcar>> acesso em 10 nov. 2013.

*PÁDUA, P. G. L. *Desempenho de compósitos cimentícios fabricados com cimentos aditivados com cinzas de bagaço de cana-de-açúcar in natura e beneficiadas*. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, 208 p. 2012.

*POGGIALI, F. S. J. *Desempenho de microconcretos fabricados com cimento Portland com adições de cinza de bagaço de cana-de-açúcar*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, 178 p. 2010.

*PORTAL DO CONCRETO. *Tudo sobre concreto*. Disponível em <<http://www.portaldoconcreto.com.br>> acesso em 10 nov. 2013.

*PROÁLCOOL (2009). *Programa Brasileiro do Álcool*. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/Proalcool/pro-alcool.htm>> acesso em 10 nov. 2013.

*PROCANA. *Setor Sucroalcooleiro no Brasil*. Disponível em <<http://www.jornalcana.com.br/Jornal-Cana>> acesso em 10 nov. 2013.

**Produção de uma usina sucroalcooleira*. Fonte: Disponível em <<http://revistagalileu.globo.com>> acesso em: 20/10/2013.

*QUEIROZ, L. *Impactos Ambientais da Agroindústria da Cana-de-açúcar: Subsídios para a Gestão*. Monografia (Especialização), Escola Superior de Agricultura USP, São Paulo, SP, Brasil, 131 p. 2007.

**Resistência à compressão dos blocos vazados aos 7, 14, 21 e 28 dias com a substituição da areia pela CBCA nas percentagens 0%, 15%, 20%, 25%*. Disponível em: <http://dc386.4shared.com/doc/tub_yZ8R/preview.html> acesso em 10-11-13.

*Resistência à compressão dos corpos de prova aos 7,14 e 28 dias com a substituição da areia pela CBCA nas percentagens 0%, 10%, 20%, 30%, 50% e 100%. Disponível em: SALES, A; LIMA, Waste Management. 2010. Versão on-line.doi: 10.1016/j.wasman 20-10-13.

*SALES, A.; LIMA, S. A.; SANTOS, T. J. *Caracterização físico-química da cinza do bagaço da cana-de-açúcar visando o seu uso em argamassas e concretos como substituto do agregado miúdo*. Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2009.

*SALES, A.; LIMA, S. A. *Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement*. Waste Management. 2010. Versão on-line.doi: 10.1016/j.wasman.2013.11.24.

*SALES, A.; LIMA S. A.; ALMEIDA, F. C. R.; MORETTI J. P. *Considerações ambientais e proposta de aproveitamento da cinza do bagaço da cana-de-açúcar para uso na infraestrutura urbana*. 2010. Disponível em: <<http://pluris2010.civil.uminho.pt/Actas/PDF/Paper274.pdf>> acesso em 10 nov. 2013.

*SALES, A.; LIMA, S. A.; ALMEIDA, F. C. R.; MORETTI, J. P.; PORTELLA, K. F. *Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão*. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212011000200014> acesso 10 nov. 2013.

*SILVA, A. J. P.; COSTA, F. L.; SOUSA, W. R. V. (2011). *Blocos vazados modulares de concreto inovado com adição de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar*. Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, MA, 13 p. 2011.

*SOARES, M. M. N. *Influência das condições de queima nas características físico-químicas das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, 117p. 2010.

*SOUZA, G. N.; Formagini, S.; CUSTÓDIO, F. O.; SILVEIRA, M. M. (2007). *Desenvolvimento de argamassas com substituição parcial do cimento Portland por cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar*. Anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, São Paulo, 11 p.

*SOUZA, Z. *Bioeletricidade atinge o equivalente a uma Belo Monte em potência instalada*. 2013. Disponível em: <www.novacana.com> acesso em 22 nov. 2013.

*TASHIMA, M. M. *Cinza de casca de arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland*. 2006. 81p. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 2006.

*TOBIAS, A. C.; ROCHA, A. C.; FERREIRA, F.; SOUSA, M. M. *Avaliação dos impactos ambientais causados pela extração de areia no leito do Rio Piracanjuba – Município de Silvania GO*. 2010. 8p. Disponível em <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/enciclop.htm>> acesso em 20 nov. 2013.

*UNICA – UNIÃO DAS INDÚSTRIAS DE CANA-DE-AÇUCAR. (2009). *Setor sucroenergético Mapa da Produção*. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/show.asp>> acesso em 20 nov. 2013.