



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC**  
**Eficiência Energética e Riscos Ambientais em uma Fábrica de**  
**Cimento**

Campina Grande – PB

2011



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC**

### **Eficiência Energética e Riscos Ambientais em uma Fábrica de Cimento**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à coordenação do curso de Engenharia Elétrica da UFCG, como parte dos requisitos à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

---

Francisco Tales Sousa Bezerra

Aluno

---

Benedito Antonio Luciano

Orientador

Campina Grande - PB

2011



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC**  
**Eficiência Energética e Riscos Ambientais em uma Fábrica de**  
**Cimento**

Julgado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

---

Benedito Antonio Luciano  
Orientador

---

Convidado

Campina Grande - PB

2011

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, pelo incentivo para que eu sempre seguisse em frente diante dos obstáculos da vida.

Aos meus irmãos, pela amizade e força nos momentos difíceis.

A minha noiva, Carol, pela paciência e carinho a mim dedicados.

Ao professor Benedito Luciano, pelos conhecimentos repassados.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Participação dos grupos cimenteiros no mercado nacional-2007.....	10
Figura 2.2 – Consumo Aparente de Cimento no Brasil.....	11
Figura 2.3 – Modal de transporte brasileiro da distribuição de cimento.....	12
Figura 2.4 - Evolução do consumo energético do setor cimenteiro.....	13
Figura 3.1 – Fluxograma simplificado do processo de produção de cimento.....	16
Figura 3.2 – Mina de Calcário.....	17
Figura 3.3 - Retomador de Calcário.....	18
Figura 3.4 - Moinho de Cru.....	18
Figura 3.5 - Torre de Ciclones.....	19
Figura 3.6 - Forno de Clinquerização.....	20
Figura 3.7- Moinho de Cimento.....	20
Figura 3.8 - Silos de Cimento.....	21
Figura 3.9 - Ensacamento e Expedição de Cimento.....	21
Figura 4.1 - Curva de carga.....	27
Figura 4.2– Curva Conjugado x Rotação.....	30
Figura 4.3 – Comparação de rendimento motores W21(Standard) e ARPlus.....	33
Figura4.4 – Triângulo de potência predominantemente: (a) indutivo e (b) capacitivo.....	35
Figura 4.5 – Liberação de capacidade instalada.....	36
Figura 4.6 – Diagrama de ressonância série e paralelo.....	38
Figura 4.7 – Diagrama simplificado do inversor de frequência.....	39
Figura 4.8 –Consumo percentual de energia em um sistema de controle de vazão realizado por diferentes métodos.....	40
Figura 4.9 - Eficiência luminosa para alguns tipos de lâmpadas.....	42
Figura 4.10 – Relação entre a temperatura da luz e a sua cor.....	42
Figura 6.1 – Fatura de energia da fábrica de CAF.....	52
Figura 6.2 – Demanda em kW no ano de 2010: (a) horário <i>FP</i> .....	52
Figura 6.2 – Demanda em kW no ano de 2010: (b) horário <i>NP</i> .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Consumo percentual de combustíveis do setor cimenteiro.....	13
Tabela 3.1 – Tipos de Cimentos produzidos no Brasil.....	15
Tabela 3.2 – Composição química do cimento Portland.....	16
Tabela 4.1 – Classificação do consumidor de acordo com o nível de tensão.....	24
Tabela 4.2 – Níveis de iluminância recomendados pela norma NBR 5413.....	41
Tabela 6.1 – Tarifas de energia praticada pela COELBA.....	51
Tabela 6.2 – Tensão de alimentação e tipos de partidas dos motores elétricos.....	53

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	08
2. HISTÓRICO DA INDÚSTRIA DO CIMENTO.....	09
3. ORIGEM E PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO CIMENTO.....	14
3.1 ORIGEM DO CIMENTO.....	14
3.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO CIMENTO.....	16
3.2.1 MINERAÇÃO.....	17
3.2.2 MOAGEM DE CRU.....	18
3.2.3 CLINQUERIZAÇÃO.....	19
3.2.4 MOAGEM DE CIMENTO.....	20
3.2.5 ENSACAMENTO E EXPEDIÇÃO.....	21
4. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SETOR ELÉTRICO DE UMA FÁBRICA DE CIMENTO.....	21
4.1 PRINCIPAIS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SETOR ELÉTRICO DE UMA FÁBRICA DE CIMENTO.....	24
4.1.1 REVISÃO DA TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA CONTRATADA.....	24
4.1.2 AUMENTO DO FATOR DE CARGA.....	27
4.1.3 DIMENSIONAMENTO DE MOTORES ELÉTRICOS.....	29
4.1.4 MOTORES DE ALTO RENDIMENTO.....	32
4.1.5 CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA.....	33
4.1.6 USO DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA.....	39
4.1.7 ILUMINAÇÃO INDUSTRIAL EFICIENTE.....	41
5. ANÁLISE DOS RISCOS AMBIENTAIS.....	43
5.1 RISCOS AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO.....	44
5.2 RISCOS AMBIENTAIS INERENTES AO TRANSPORTE.....	47
5.3 RISCOS AMBIENTAIS INERENTES AOS PROCESSOS INTERNOS DA FÁBRICA.....	49
6. ESTUDO DE CASO.....	50
7. CONCLUSÃO.....	55
8. REFERÊNCIAS.....	56

## 1. Introdução

O cimento é o aglomerante mais requerido nas construções de todo o mundo, aplicando-se a quaisquer tipos de projetos arquitetônicos, desde o início a conclusão da obra. A sua importância para a sociedade é de tal forma que o seu consumo per capita pode ser tomado como um indicador do nível de desenvolvimento do país.

Processado em fábricas, geralmente localizadas próximo às minas, o cimento tem como insumos básicos o calcário e a argila. O seu processamento, desde a extração do minério a expedição final do produto requer um intenso uso de energia, seja ela: *elétrica* - empregada em todo o processo industrial para girar fornos rotativos, moinhos, movimentar máquinas, bem como para a iluminação - ou *térmica (calor)* - utilizado nos fornos rotativos, torres ciclones e moinhos.

A indústria brasileira de cimento é moderna e tecnologicamente atualizada, apresentando, dentre outras características, o consumo médio de energia elétrica por tonelada de cimento produzido no país de 92 kWh/ton.

No ano de 2008, a indústria do cimento brasileira consumiu o equivalente a 3742 milhões de tep (toneladas equivalente de petróleo) para produzir 51.864 milhões de toneladas de cimento, sendo este setor industrial responsável pelo consumo de 1,76% de toda energia produzida no Brasil (BEN, 2009).

Em 2008, o consumo de energia elétrica do setor cimenteiro foi de 4777 GWh, ou seja, 1,11% de toda energia elétrica gerada no país (BEN, 2009). Ao longo das últimas décadas, uma atenção especial tem sido dada a ações orientadas no sentido de obter um desenvolvimento sustentável. A eficiência energética tornou-se um assunto permanente à mesa de discussões sobre investimentos, das empresas.

A indústria de cimento apresenta um considerável potencial poluidor. A emissão de CO<sub>2</sub> é um processo inerente à produção de cimento, uma vez que, durante a calcinação do calcário, ocorre a descarbonatação do carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), que é transformado em óxido de cálcio (CaO), liberando CO<sub>2</sub> (Maringolo, 2001), ainda soma-se a esta emissão o percentual resultante da queima dos combustíveis fósseis ou de seus derivados. Também temos a emissão de material poluente originado a partir da queima dos *blend's*.



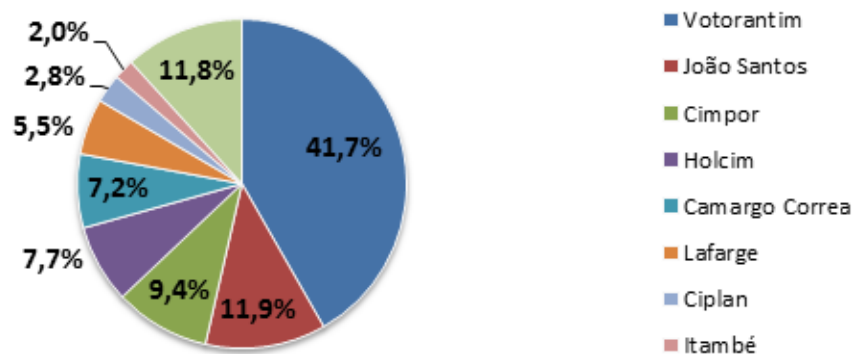
Seja por pressões governamentais ou da própria sociedade, têm-se exigido do setor industrial em geral, e particularmente com relação às fábricas de cimento, um maior comprometimento com relação a, redução dos índices de consumo energético, redução das agressões ao meio ambiente e ainda o cumprimento com o dever social. É neste contexto que está inserido este trabalho de Conclusão de Curso – TCC, cujos objetivos foram:

- Realizar o levantamento das principais medidas de eficiência energética referentes ao setor elétrico, aplicáveis à indústria do cimento.
- Apresentar os principais riscos aos qual o meio ambiente exposto ao longo de toda a cadeia de produção de cimento.
- Realizar um estudo de caso na fábrica de cimento do grupo CIMPOR, localizada na cidade de Campo Formoso – BA.

## **2. Histórico das indústrias do cimento**

A indústria do cimento caracteriza-se por ser um setor que requer um alto investimento de capital e apresenta uma grande escala de produção. O tempo necessário para implantação de um projeto, dos estudos preliminares até o funcionamento de uma fábrica de cimento, é de 3 a 5 anos. O valor estimado do investimento inicial de uma planta para fabricação de cimento é da ordem de 200 a 300 milhões de dólares por tonelada de capacidade instalada. Este fato associado ao longo prazo de amortização do capital investido leva à formação de oligopólios.

A indústria do cimento brasileira pertence em sua maioria a 10 grupos industriais nacionais e estrangeiros. Na figura 2.1 são destacados os principais grupos em atividade no Brasil, no ano de 2007. Destes grupos os cinco principais nacionais são: Votorantim, João Santos, Camargo Correa, Ciplan, Itambé. Os três principais grupos estrangeiros são: Cimpor, Holcim e Lafarge.



Fonte: <http://setorial.valor.com.br>

Figura 2.1 – Participação dos grupos cimenteiros no mercado nacional – 2007

A demanda por cimento está diretamente ligada ao desenvolvimento econômico e do mercado da construção civil, seu maior consumidor. O consumo per capita de cimento reflete o índice de renda da população e dessa forma é também tomado como um índice do grau de desenvolvimento de país.

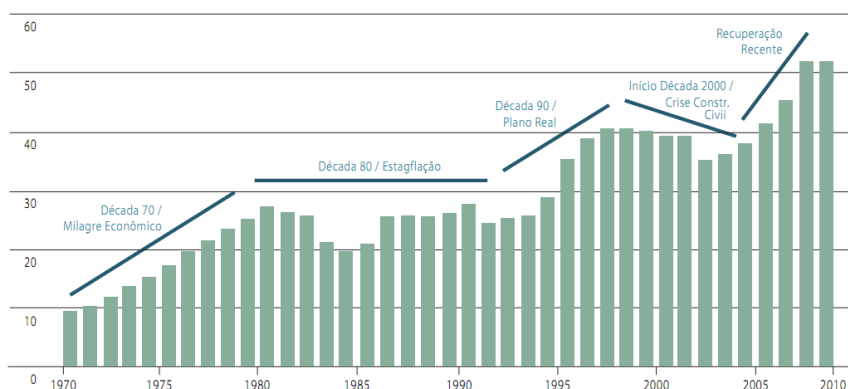
No início da década de 1980, a produção de cimento ultrapassou o valor de 25 milhões de toneladas anuais; no período de 1983 a 1985, retrocedeu a 20 milhões de toneladas; em 1986, voltou ao patamar de 25 milhões de toneladas anuais; na virada do século atingiu 49 milhões de toneladas; Em 2003, a produção nacional de cimento retrocedeu a 35 milhões de toneladas anuais (SNIC, anos diversos).

Nos últimos anos a produção de cimento voltou a crescer passando de 41,9 milhões de toneladas em 2006, para 51,9 milhões de toneladas em 2008. No final do segundo semestre de 2008, o Brasil sentiu os reflexos da recente crise mundial, muitos projetos em andamento foram paralisados, ou suspensos, devido às desconfiças dos empresários de que o Brasil não sairia tão rápido do terrível cenário mundial, causando assim uma estagnação no crescimento do consumo de cimento ao decorrer do ano de 2009. Em 2010, com o cenário de crescimento do PIB brasileiro de 3,2%, o que se observou foi a retomada do crescimento da demanda por cimento. Outros fatores contribuíram para o aumento da demanda por cimento ao longo dos últimos oito anos:

- Aumento da renda salarial no país, como reflexo dos indicadores positivos da economia brasileira.
- Aumento da oferta de crédito imobiliário e queda nas taxas de juros.

- O aumento do consumo das construtoras, especialmente a indústria da construção imobiliária voltada para a habitação.
- Aumento das obras de infraestruturas, com a implantação do PAC – Programa de Aceleração do Crescimento.
- Programas governamentais de habitação.

Analisando-se o gráfico apresentado na Figura 2.2 é possível observar o crescimento da produção brasileira de cimento ao longo do período de 1970 a 2010.



Fonte: <http://www.snic.org.br/pdf/relat2009-10web.pdf>

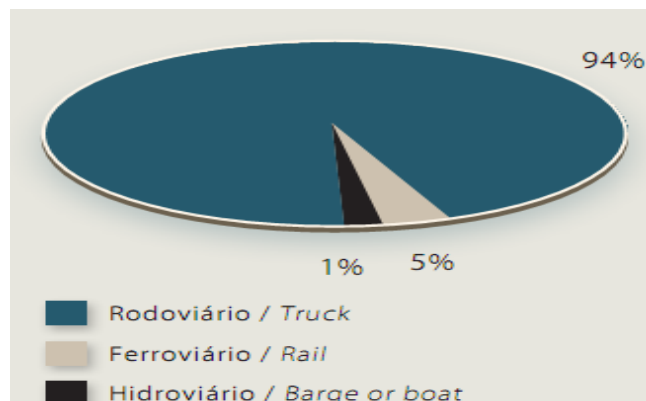
Figura 2.2 – Consumo Aparente de Cimento no Brasil

Devido ao fato de o Brasil ser sede da Copa de 2014 e da Olimpíada de 2016, está previsto um crescimento do consumo de cimento a uma taxa de 10% ano. Por este motivo, muitos grupos cimenteiros já anunciaram altos investimentos no aumento da capacidade de produção instalada para atender a esta demanda.

As características químicas do cimento não permitem que o mesmo seja estocado por muito tempo, apresentando um prazo de validade em média de 90 dias, sendo assim, o transporte é um dos principais elementos do custo do produto. O setor cimenteiro é um segmento em que a logística é fundamental, envolvendo todo o processo de produção, distribuição e consumo. O cimento apresenta uma baixa relação preço/peso, representando assim o transporte um fator significativo na composição final do preço do produto. Segundo Haguenaer (1997), “a uma distância de cerca de 300 km da fábrica, ou cerca de 500 km em áreas de menor densidade populacional, o custo do transporte representa de 10% a 20% do preço do produto”. Dessa forma a logística deve ser realizada objetivando minimizar os custos com o frete.

No modal do transporte brasileiro da distribuição de cimento expresso na figura 2.3, é possível observar que em virtude de 94% do escoamento ser realizado

através do transporte rodoviário, fica explícito a influência direta que a variação do preço do petróleo tem sobre o valor do frete, e por vez no preço final do produto que chega ao consumidor.



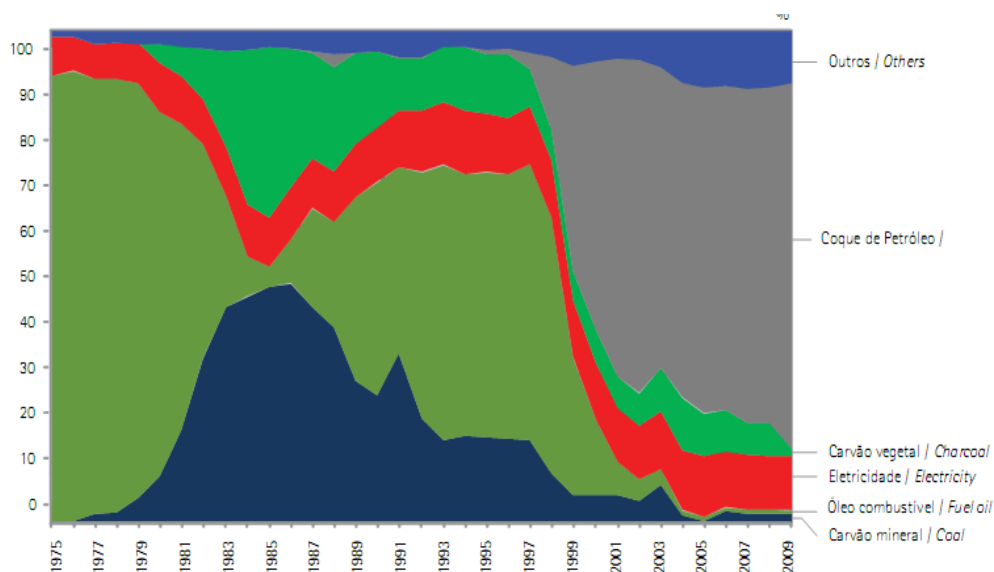
Fonte: <http://www.snic.org.br/pdf/relat2009-10web.pdf>  
Figura 2.3 – Modal de transporte brasileiro da distribuição de cimento

Uma característica marcante na indústria do cimento é a sua dependência de energia, especialmente para a produção de clínquer. A matriz energética da indústria do cimento foi bastante modificada ao longo das décadas e estratégias foram adotadas, buscando sempre o aumento da eficiência energética, assim como a substituição dos combustíveis fósseis por fontes alternativas.

No decênio de 1970, devido aos chamados choques do petróleo, o Governo brasileiro promoveu uma política de incentivo e subsídio à utilização de outros combustíveis, por exemplo, carvão mineral, vegetal, similares ao óleo pesado e aos derivados do petróleo.

Em 1979, por exemplo, a indústria utilizava óleo combustível para suprir 93% de suas necessidades de energia para fins térmicos (BEN, 1995). Nesse mesmo ano a indústria de cimento teve que assinar o “*Protocolo de Redução e Substituição do Consumo de Óleo Combustível na Indústria Cimenteira*”, onde as empresas se comprometeram em modificar seus padrões de consumo até 1984 (SNIC, 1993 apud Santi&Sevá, 1999).

No período de 1980 a 1995, através de medidas que visaram à conservação de energia, a indústria conseguiu uma redução de 20% no consumo específico de energia. Um esboço da estrutura do consumo de combustíveis do setor cimenteiro brasileiro é apresentado na Figura 2.4.



Fonte: [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2009.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2009.pdf)  
 Figura 2.4 - Evolução do consumo energético do setor cimenteiro

Do consumo percentual de energia do setor cimenteiro, no período de 1999 a 2008, visto na tabela 2.1, podemos observar que a partir do ano 2002 o coque de petróleo assume o papel de principal fonte de energia da indústria cimenteira, ao mesmo tempo em que o consumo de óleo combustível é reduzido ao índice de 4,3%. Também é possível notar o índice crescente do uso de outras fontes de energia, também denominado de *Blend's*, combustíveis compostos por sobressalentes da indústria química, automobilística, metalúrgica entre outras mais.

Tabela 2.1 - Consumo percentual de combustíveis do setor cimenteiro.

FONTES	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
CARVÃO MINERAL	5,6	5,5	5,3	4,3	7,5	1,5	0,2	2,1	1,8	1,6
ÓLEO COMBUSTÍVEL	27,9	15,2	6,8	4,3	3,2	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
ELETRICIDADE	11,6	11,4	11,1	10,9	11,7	12,2	12,2	11,5	11,0	11,0
CARVÃO VEGETAL	5,9	6,9	6,2	6,6	8,8	10,7	8,8	8,5	6,6	6,6
COQUE DE PETRÓLEO	42,0	54,9	65,0	67,8	61,5	64,0	66,5	65,8	68,2	68,5
OUTRAS	7,1	6,2	5,5	6,0	7,3	10,7	11,5	11,4	11,7	11,5
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2009.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2009.pdf)

### 3. Origem e Processo de fabricação do Cimento

#### 3.1 Origem do Cimento

O químico britânico Joseph Aspadin foi a primeira pessoa a fabricar cimento em bases científicas, ele batizou seu produto de Cimento Portland devido à semelhança com uma pedra encontrada na ilha de Portland. Atualmente, o principal tipo de cimento utilizado em todo o mundo é Portland.

O cimento é composto basicamente por uma pequena porcentagem de argila (entre 20 e 25%), queimada juntamente com calcário (entre 75% e 80%) a uma temperatura aproximada de 1450 °C, dando origem ao clínquer.

Outras matérias-primas podem ser adicionadas juntamente ao clínquer na fase de moagem dando origem aos diversos tipos de cimento Portland existentes no mercado. Essas matérias-primas e as características que conferem ao cimento são as seguintes:

- O *gesso* é adicionado na proporção de 3 a 4% a todos os tipos de cimento Portland. Sua função é a de controlar o tempo de endurecimento do clínquer quando este é misturado com água, pois este processo seria muito rápido caso a água fosse adicionada diretamente sobre o clínquer puro.
- Os materiais Pozolânicos, ricos em sílica, podem ser de origem natural ou artificial, alguns exemplos são: cinzas volantes (derivados da queima de carvão mineral em usinas termelétricas), argilas calcinadas, rochas vulcânicas, sílica ativa ou matérias orgânicas fossilizadas. Seu percentual de adição pode chegar a 50%. Sua adição confere a propriedade de maior impermeabilidade ao concreto e às argamassas.
- Escórias *de alto-forno* são originadas durante a produção de ferro-gusa nas indústrias siderúrgicas. A proporção na qual é adicionado ao clínquer varia entre 6% e 70%, dependendo do tipo de cimento que se deseja produzir. Sua função é conferir maior durabilidade e resistência ao produto final.
- Materiais Carbonáticos, são minerais que apresentam carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) em sua composição. Sua propriedade é a de tornar o concreto e as argamassas mais trabalháveis

O cimento é classificado de acordo com sua composição química e esta é previamente definida em função da aplicação a qual se destina o cimento. Os principais tipos de cimento disponíveis no mercado brasileiro estão listados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Tipos de Cimentos produzidos no Brasil

1. Cimento Portland Comum (CP I)
a. CPI - Cimento Portland Comum
b. CPI-S - Cimento Portland Comum com adição
2. Cimento Portland Composto (CP II)
a. CP II-E - Cimento Portland Composto com Escória
b. CP II-Z - Cimento Portland Composto com Pozolona
c. CP II-F - Cimento Portland Composto com Filler
3. Cimento Portland de Alto Forno (CP III)
4. Cimento Portland Pozolânico (CP IV)
5. Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI)
6. Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS)
7. Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC)
8. Cimento Portland Branco (CBP)

Fonte: <http://setorial.valor.com.br>

Na Tabela 3.2 são apresentadas as composições químicas de cada tipo de cimento, assim como as normas brasileiras que os regulamentam.

Tabela 3.2 – Composição química do cimento Portland

<b>CIMENTO PORTLAND (ABNT)</b>	<b>Tipo</b>	<b>Clínquer + Gesso (%)</b>	<b>Escória Siderúrgica (%)</b>	<b>Material Pozolânico (%)</b>	<b>Calcário (%)</b>
CP I (NBR 5732)	Comum	100	-	-	-
CP I – S (NBR 11578)	Comum	95-99	1-5	1-5	1-5
CP II – E (NBR 11578)	Composto	56-94	6-34	-	0-10
CP II – Z (NBR 11578)	Composto	76-94	-	6-14	0-10
CP II – F (NBR 11578)	Composto	90-94	-	-	6-10

CP III (NBR 5735)	Alto-forno	25-65	35-70	-	0-5
CP I (NBR 5736)	Pozolânico	45-85	-	15-50	0-5
CP V – ARI (NBR 5733)	Alta resistência inicial	95-100	-	-	0-5

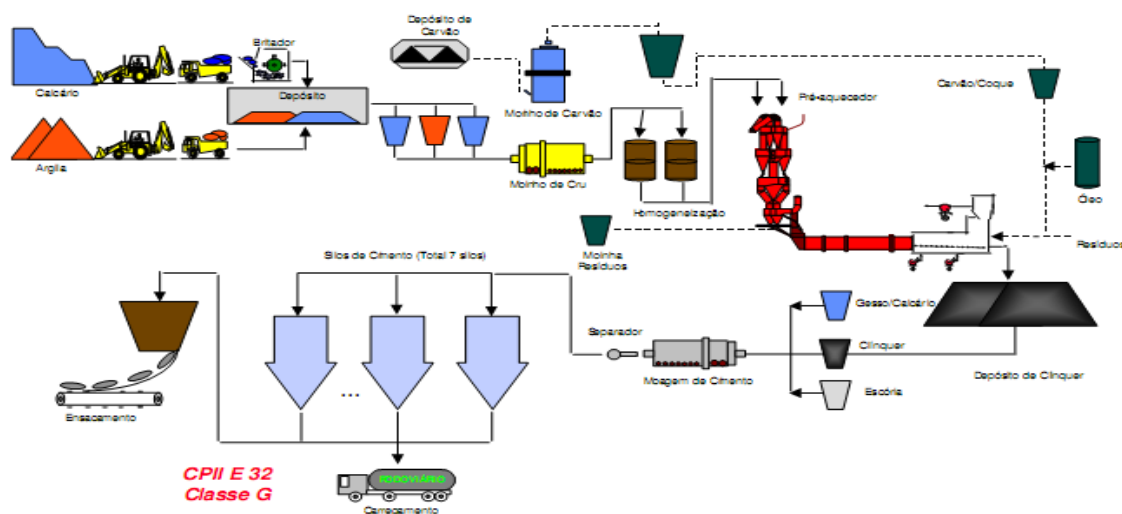
Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Cimento>

### 3.2 Processo de fabricação do cimento

O processo de fabricação de cimento é praticamente o mesmo em todo o mundo, diferindo apenas na tecnologia e nível de automatização da planta industrial. Simplificando, pode-se dividir o processo de fabricação em cinco etapas:

1. Mineração
2. Moagem de Cru
3. Clinquerização
4. Moagem de Cimento
5. Ensacamento e Expedição

Na Figura 3.1 é apresentada a ilustração de uma planta industrial de fabricação de cimento.



Fonte: <http://www.dema.puc-rio.br/download/Aula%20Cimento%20IEM.pdf>  
 Figura 3.1 – Fluxograma simplificado do processo de produção de cimento



### 3.2.1 Mineração

A mineração consiste no processo de extração das matérias-primas necessárias à fabricação do cimento. Antes de se iniciar a extração é realizado todo um estudo através da coleta de material de diversos pontos mina (Figura 3.2), traçando assim um perfil químico do calcário que compõe a mina. Traçado o perfil da mina, é desenvolvido um plano de lavra, no qual é determinado de quais bancos será feita a extração do minério, e em quais proporções. O calcário extraído é classificado de acordo com o óxido presente:

- Calcário Calcáico – alto teor de CaO
- Calcário Dolomítico – alto teor de MgO



Fonte: CCB Cimpor, 2006

Figura 3.2 – Mina de Calcário

Em seguida, o material que vem da mineração geralmente através de transportadoras tem a sua granulometria reduzida. Máquinas chamadas britadores, realizam a quebra da matéria-prima, por meio de martelos que batem sobre o mineral. Após a britagem o calcário segue por meio de correias transportadoras para depósitos onde é armazenado em formato de pilhas (Figura 3.3). As pilhas são feitas de acordo com o teor do calcário no minério. Também existem outros depósitos nos quais são armazenados o coque de petróleo, argila e escória.



Fonte: Votorantim, 2006

Figura 3.3 - Retomador de Calcário

### 3.2.2 Moagem de cru

Do depósito, através de uma máquina chamada de Retomador, o calcário é coletado a partir da base da pilha, realizando uma pré-homogeneização. Na sequência o calcário retomado é transportado através de correias e armazenado em moegas distintas, em razão da composição química da pilha da qual foi retomado.

As moegas são dotadas de balanças dosadoras em suas saídas, o que permite ajustar o percentual de cada material que irá compor a “farinha” ou “cru”. Das moegas os materiais em suas devidas proporções são levados até o moinho de cru onde é feita a moagem e a homogeneização. Uma farinha homogênea irá propiciar uma marcha regular do forno e do moinho de cimento, pois somente com base neste tipo de farinha é possível manter um nível elevado de silicato tricálcico no clínquer, responsável por assegurar boa resistência ao cimento. Ao término desse processo, a farinha será armazenada em silos (GOMIDES, 1996).



Fonte: CCB CIMPOR, 2010

Figura 3.4 - Moinho de Cru

### 3.2.3 Clinquerização

Nessa etapa, a farinha é retirada dos silos por meio de um sistema de aeração, coletando a farinha de vários pontos do silo, isso permite uma maior homogeneização na alimentação do forno.

Antes de seguir para o forno, a farinha passa por uma torre de ciclones, esta torre recebe calor do forno através de um sistema de exaustores. Durante a passagem pela torre de ciclones ocorre uma série de reações químicas:

- Até 100 °C - processo de evaporação da água livre.
- > 500 °C - processo de desidroxilação dos argilo-minerais.



Fonte: CCB CIMPOR, 2010

Figura 3.5 - Torre de Ciclones

Na junção entre a torre de ciclones e o forno, onde a temperatura é maior do que 900 °C, a farinha sofre o processo de decarbonatação. Na sequência, dentro do forno, a farinha é direcionada contra o maçarico. Nessa fase ocorrem as seguintes reações químicas:

- De 900 °C a 1200 °C – Início da reação do CaO com silicatos e aluminatos.
- De 1250 °C a 1280 °C – Ocorre a formação da fase líquida (lama).
- Em 1450 °C – Formação de C<sub>3</sub>S.
- 1450 °C a 100 °C – Resfriamento processado no resfriadores de grelha.



Fonte: CCB CIMPOR, 2010

Figura 3.6 - Forno de Clinquerização

Após chegar ao final do forno, o material cai numa grelha onde é bruscamente resfriado, cuja temperatura atinge valores em torno de 150 °C, momento em que se estabelece a formação do clínquer. O clínquer então passa por um britador de rolos e é, por fim, transportado até os silos de clínquer.

### 3.2.4 Moagem de cimento

Juntamente com o clínquer, são adicionados os demais insumos (gesso, escória de alto forno, calcário, filler, etc) do cimento que se deseja produzir. Os insumos são dosados em balanças de células de cargas, a partir das quais são levados ao moinho de bolas, onde são reduzidos a pó através do choque com bolas metálicas. É de grande importância que seja controlada a temperatura de saída do moinho, porque caso esta seja superior a 128 °C ocorre à desidratação do gesso, comprometendo a aplicabilidade do cimento.



Fonte: CCB CIMPOR, 2010

Figura 3.7- Moinho de Cimento

Como resultado deste processo surge o cimento, que é transportado por aerotransportadores até os silos de cimento.



Fonte: CCB CIMPOR, 2010

Figura 3.8 - Silos de Cimento

### 3.2.5 Ensacamento e expedição

Dos silos, o cimento é ensacado e pesado em sacos de 50 kg ou então é expedido a granel.



Fonte: CCB CIMPOR, 2010

Figura 3.9 - Ensacamento e Expedição de Cimento

## 4 . Eficiência energética do setor elétrico de uma fábrica de cimento

Diante do atual contexto energético mundial e das alterações climáticas ocorridas ao longo dos anos, políticas governamentais e privadas têm buscado um desenvolvimento mais sustentável. Entende-se por desenvolvimento sustentável aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras fazerem o mesmo.

Um dos pontos cruciais para se alcançar o desenvolvimento sustentável é acentuar as medidas que buscam a eficiência energética, onde estas se baseiam no

conceito de atingir o mesmo nível de produção consumindo uma quantidade menor de energia. Isto é possível através do gerenciamento contínuo da energia, uso de tecnologias mais modernas e eficientes, reeducação dos usuários quanto a economia energia e o comprometimento da empresa com a busca pelo uso mais racional da energia. Estas medidas causam efeitos diretos no ponto vista técnico e econômico, podemos citar os seguintes efeitos benéficos:

- Evitam ou adiam a necessidade de novos investimentos na geração de energia, tendo em vista que, os investimentos necessários à geração de energia são bem mais caros do que os necessários para se conservar energia;
- Redução do consumo de energia;
- Redução dos custos operacionais;
- Aumento da longevidade dos equipamentos;
- Aumento da produtividade.

Os métodos de economia de energia podem ser agrupados em quatro categorias:

- Medidas zeladoras consistem da manutenção e operação adequada dos equipamentos, reeducação dos usuários quanto ao aproveitamento máximo dos recursos naturais, por exemplo, luz e ventilação naturais;
- Alterações de equipamentos e processos. A modificação de componentes do equipamento pode proporcionar um melhor rendimento do mesmo. O estudo dos processos permite que modificações sejam feitas de modo a aumentar a produtividade. Estudos comparativos com os resultados obtidos em outras unidades que estejam apresentando maior eficiência no processo podem ser utilizados para adaptar o processo de modo a alcançar os mesmos resultados;
- Medidas que aumentam a eficiência dos equipamentos. Estas medidas vão desde o correto dimensionamento do equipamento à carga, no caso da iluminação a aplicação de todas as medidas que contribuem para o aumento da eficiência das lâmpadas, dentre estas, a realização de limpeza periódica das calhas refletoras, a aplicação de cores claras as paredes e teto do ambiente a ser iluminado etc..
- Redução de perdas. Obtido com a manutenção periódica dos circuitos elétricos, eliminando curtos-circuitos, folga em conexões elétricas, realizando o tratamento de harmônicos, correção de reativos, aplicação de chaves especiais (*softstart*) para partida de motores.

Apesar de inúmeros benefícios do uso de tecnologias mais eficientes, o mercado ainda apresenta certas resistências a adesão desse tipo de tecnologia:

- Falta de informação daqueles funcionários responsáveis pelo setor elétrico da empresa, das possibilidades de melhorias no uso racional da energia ou da viabilidade econômica da sua aplicação.
- A eficiência energética pode não ser a prioridade para investimentos, ou seja, o consumidor pode preferir investir, por exemplo, em uma nova linha de produção do que destinar estes recursos a realização de melhorias na instalação elétrica em operação, de modo a obter uma maior eficiência seja esta elétrica ou produtiva;
- Aversão ao risco da introdução de novas tecnologias;
- O custo inicial mais dispendioso dessas tecnologias;

Os principais programas brasileiros que atuam no incentivo do uso mais eficiente da energia são o PROCEL e o CONPET. O Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL), de 1985, lançado pelo Ministério de Minas e Energia, tendo como gerência uma secretaria executiva subordinada à Eletrobras, teve a missão de “promover a eficiência energética, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população e a eficiência dos bens e serviços, reduzindo os impactos ambientais”.

O Procel tem diversas linhas de atuação, que abrangem diferentes segmentos de consumo de energia. Sua atuação é concretizada por meio de subprogramas específicos, como:

- Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética - Procel Info;
- Eficiência Energética em Edificações – Procel Edifica;
- Eficiência Energética em Equipamentos - Procel Selo;
- Eficiência Energética Industrial - Procel Indústria;
- Eficiência Energética no Saneamento Ambiental - Procel Sanear;
- Eficiência Energética nos Prédios Públicos - Procel EPP;
- Gestão Energética Municipal - Procel GEM;
- Informação e Cidadania - Procel Educação;
- Eficiência Energética na Iluminação Pública e Sinalização Semafórica – Procel Reluz.

O Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) foi criado em 1991 e executado pela Petrobras. O programa tem como objetivo o ganho de eficiência energética de 25% no uso dos derivados do petróleo e do gás natural, nos próximos 20 anos.

#### 4.1 Principais medidas de eficiência energética do setor elétrico da indústria do cimento

##### 4.1.1 Revisão da tarifa de energia contratada

Antes de programar qualquer projeto de eficiência energética se faz necessário o completo conhecimento do sistema tarifário brasileiro. As classes de tarifas se diferenciam em função do perfil de consumo de energia elétrica das empresas. Os consumidores são classificados em dois grupos, em função do nível da tensão de alimentação, conforme a Tabela 4.1:

Tabela 4.1 – Classificação do consumidor de acordo com o nível de tensão

Grupo A – Alta tensão	Grupo B – Baixa tensão
A-1 - 230 kV ou mais;	B-1 - Residencial;
A-2 - 88 a 138 kV;	B-1 - Residencial Baixa Renda;
A-3 - 69 kV;	B-2 - Rural;
A-3a - 30 a 44 kV;	B-3 - Não Residencial Nem Rural; e
A-4 - 2,3 a 13,8 kV; e	B-4 - Iluminação Pública.
A.S. - 2,3 a 13,8 kV (Subterrâneo).	

Fonte: <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2>

Para assimilar as informações referentes às tarifas de energia assim como os dados expressos na conta de energia é necessário ter alguns conceitos básicos:

- **Energia:** o sistema tarifário define como sendo a potência ativa (kW) do equipamento elétrico vezes o intervalo de tempo de utilização em horas, sua unidade é o kWh.



- **Consumo:** é a quantidade de energia elétrica ativa medida no período de faturamento.
- **Demanda:** segundo a resolução da ANEEL nº 456, é a média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo de 15 minutos.
- **Demanda máxima:** é o maior valor da demanda constatada ao longo de um intervalo de tempo determinado, seja este mensal, diário ou horário.
- **Demanda contratada:** refere-se à demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados no contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW).
- **Horário de ponta:** compreende o intervalo das 17 às 22 horas, com exceção dos sábados e domingos.
- **Horário fora de ponta:** compreendido pelas horas complementares o horário de ponta, com a inclusão dos sábados e domingos.
- **Demanda de reativos excedentes:** é o valor da demanda reativa que excede a demanda reativa contratada.
- **Período seco:** intervalo consecutivo de sete meses, que vai de maio a novembro. Durante este período as tarifas são mais elevadas devido à perda de geração de energia elétrica ocasionada pela baixa do nível do reservatório.
- **Período úmido:** período de meses complementares aos do período seco.
- **Tarifa horo-sazonal:** classes de tarifárias estruturadas para aplicação de preços diferenciados para a demanda de potência e consumo de energia elétrica, conforme o horário de utilização durante o dia (ponta e fora de ponta) e dos períodos do ano (seco e úmido).

Classifica-se o setor industrial como cliente do grupo A, para este grupo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) definiu a existência de três tarifas diferentes:

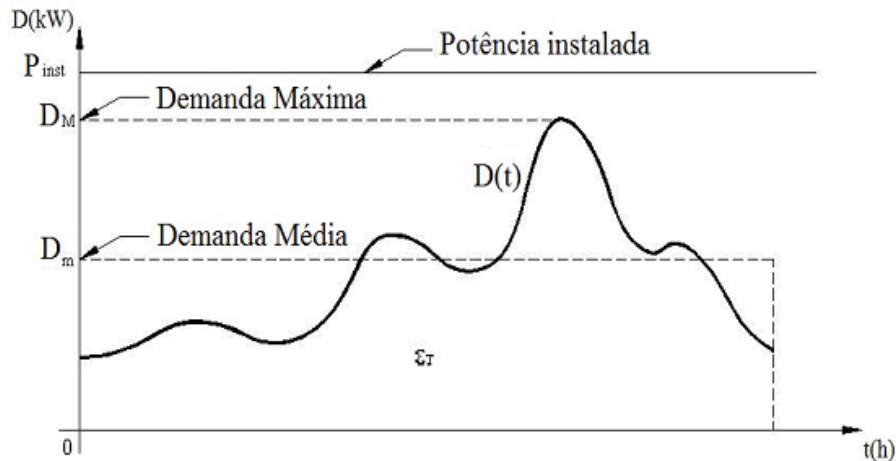
- **Convencional** – Aplica-se a consumidores que sejam alimentados com tensão inferior a 69 kV, sempre que a demanda contratada for inferior a 300 kW.
- **Horo-sazonal-Azul** – Consumidores atendidos com tensão de fornecimento maior ou igual a 69 kV. Esta tarifa aplica diferentes preços tanto para consumo de energia (ponta seca, ponta úmida, fora de ponta seca e fora de ponta úmida) quanto para demanda de potência (na ponta e fora de ponta).
- **Horo-sazonal-Verde** – Consumidores atendidos com tensão de alimentação inferior a 69 kV, quando a demanda contratada for maior ou igual a 300 kW ou quando o consumidor faturado na tarifa convencional apresentar, nos últimos 11 (onze) ciclos de faturamento, 3 (três) registros consecutivos ou 6 (seis) alternados de demanda medidas iguais ou superiores a 300 kW. Esta modalidade de tarifa aplica preços diferenciados para consumo de energia elétrica (ponta seca, ponta úmida, fora de ponta seca e fora de ponta úmida), mas pratica preço único para a demanda de potência, assim como na estrutura tarifária convencional.

O histórico das contas de energia elétrica da unidade consumidora fornece um conjunto de informações importantes para a tomada de decisões a respeito das ações que promoverão uma maior eficiência no uso da energia elétrica:

- O histórico da demanda e tendência da sazonalidade possibilita um estudo sobre melhorias no fator de carga assim como na escolha da tarifação economicamente viável.
- O excedente de reativos chama a atenção para a necessidade de correção do fator de potência.

#### 4.1.2 Aumento do fator de carga

Segundo Krause (2002), a curva de carga de uma instalação representa o perfil de comportamento das cargas solicitadas durante as 24 horas do dia, apresentando os valores de pico e possibilitando avaliar o consumo em determinados horários ou dias diferentes. Na figura 4.1 temos uma curva de carga característica de uma instalação.



Fonte: [27T27P://pt.scribd.com/doc/6541627/Instalacoes-Eletricas-1](https://pt.scribd.com/doc/6541627/Instalacoes-Eletricas-1)

Figura 4.1 – Curva de carga

Com base na curva de carga é extraído o fator de carga, este é um índice definido pela relação entre a demanda média em determinado intervalo de tempo e a demanda máxima registrada no mesmo período. Este índice (1) informa se a energia elétrica está sendo consumida de forma racional e econômica.

$$FC = \frac{D_{med}}{D_{max}} = \frac{CA}{h \cdot DR} \quad (1)$$

Onde:  $FC$  = fator de carga no mês na ponta e fora de ponta;

$CA$  = consumo médio (kWh) no mês;

$h$  = número médio de horas no mês, sendo geralmente 66 horas para a ponta e 664 horas para o período fora de ponta;

$DR$  = demanda máxima de potência registrada no mês na ponta ou fora de ponta.

A indústria do cimento geralmente realiza o contrato da tarifa de energia elétrica Horo-sazonal Azul, sendo assim o seu fator de carga calculado de duas formas diferentes, uma para o horário de ponta e outra para o fora de ponta.

No horário de Ponta (2):

$$FC_{NP} = \frac{CA_p}{66.DR_p} \quad (2)$$

No horário fora de Ponta (3):

$$FC_{FP} = \frac{CA_f}{664.DR_f} \quad (3)$$

O fator de carga assume valores entre 0 a 1, quanto mais próximo de 1, indica que melhor está sendo o aproveitamento da energia elétrica. Este fator tem influência no valor da conta de energia elétrica paga a concessionária, tendo em vista que um valor fixo é pago referente a demanda contratada.

A automação industrial em fábricas de cimento tem propiciado muitos benefícios, sejam eles no setor de processos ou elétrico. No setor de processos a automação possibilitou um expressivo ganho no aumento da produção e da qualidade final do produto. No setor elétrico da fábrica a automação proporcionou o controle do acionamento e desligamento das cargas elétricas assim como o controle do estado destas cargas. Um conjunto de medidas pode ser desenvolvido para aumentar o fator de carga:

- Estudo dos processos industriais combinando com a automação das cargas elétricas, possibilita realizar a redistribuição dos processos e das cargas elétricas em funcionamento ao longo do dia;
- Programar o acionamento dos motores, de modo que, motores de grande porte não sejam acionados simultaneamente;
- Instalar chaves especiais de partida em motores de médio porte e grande porte, para redução da corrente de partida;
- Realização de manutenções periódicas dos equipamentos;

Como efeito destas medidas tem-se:

- A redução dos picos de carga do sistema, diminuindo as solicitações e estresse dos equipamentos, o que leva a um menor gasto com a manutenção;

- Maior uniformidade da curva de carga da instalação, permitindo ou a redução da demanda máxima contratada a concessionária de energia elétrica, o que por vez representa uma redução da conta de energia elétrica da unidade consumidora, ou permite o aumento da produção, utilizando os equipamentos nos períodos de folga da curva de carga, sem que seja necessário aumentar a demanda contratada.

### **Dimensionamento de motores**

Em uma fábrica de cimento, os motores elétricos são as cargas que apresentam o consumo mais expressivo de energia elétrica. O dimensionamento adequado dos motores à sua carga de acionamento evita desperdício de energia elétrica, gastos envolvidos com a correção da potência reativa indutiva, gastos com o tratamento das perturbações elétricas da rede causadas na partida de motores superdimensionados, o que resulta em um menor rendimento destes motores.

Para que seja realizado um correto dimensionamento do motor, deve-se fazer um levantamento prévio dos seguintes requisitos:

- Fonte de Alimentação: tensão CA trifásica equilibrada.
- Frequência de operação: 60 Hz.
- Especificações da carga: curva de conjugado resistente, conjugado de partida e nominal, rotação nominal. Regime de funcionamento (contínuo ou intermitente), ciclo de acoplamento da carga, número de partidas, frenagens ou reversão por hora.
- Condições ambientais do local de instalação: altitude, umidade relativa do ar, temperatura, presença de gases, material particulado ou agente químico que de alguma forma interfira no funcionamento do motor.

Os critérios básicos para o dimensionamento correto de motores são os seguintes:

### a) Critério de potência eficaz de funcionamento

Supondo um ciclo intermitente de funcionamento do motor (4):

$$P_{EF} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_{if}}{\sum \left[ \Delta t_{if} + \frac{\Delta t_{ir}}{K_v} \right]}} \quad (4)$$

Dado:  $P_i$  – Potência consumida pela carga em cada intervalo.

$\Delta t_{if}$  – Intervalo de tempo durante o qual o motor é acionado acoplado à carga.

$\Delta t_{ir}$  – Intervalo de tempo que o motor permanece desligado e em repouso.

$K_v$  – Coeficiente de ventilação, depende do tipo de ventilação.

Para que o motor venha a atender este critério, o mesmo deve apresentar a sua potência nominal maior do que sua potência eficaz de funcionamento:

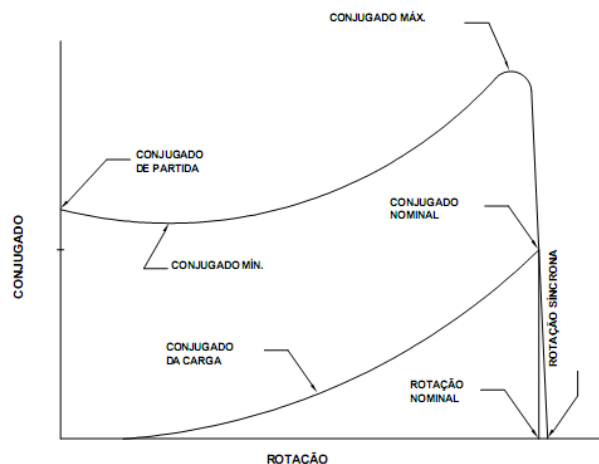
$$P_n > P_{EF}$$

### b) Critério dos conjugados motor e resistente de partida

Para uma aceleração adequada na partida, no momento da partida, o conjugado motor ( $C_{Mp}$ ) deve sempre se apresentar maior do que o conjugado resistente ( $C_o$ ).

$$C_{Mp} > C_o$$

Na Figura 4.2 é apresentado um gráfico ilustrativo desta situação.



Fonte: <http://www.geindustrial.com.br/download/artigos/nt01.pdf>

Figura 4.2– Curva Conjugado x Rotação

### c) Critério do conjugado motor máximo

Há momentos em um ciclo de carga variável em que o conjugado resistente máximo é maior do que o conjugado nominal do motor. Mesmo nesses casos o conjugado máximo do motor ( $C_{Mmax}$ ) deve ser maior do que o conjugado resistente máximo ( $C_{Rmax}$ ) e ainda atender a margem de segurança de 20%, ou seja:

$$C_{Mmax} = 1,2 \cdot C_{Rmax}$$

### d) Critério do tempo de aceleração

O conjugado de aceleração de um motor é dado por (5):

$$C_{AC} = C_M - C_R \quad (5)$$

Onde:

$C_{AC}$  = Conjugado de aceleração do motor.

$C_M$  = Conjugado Motor.

$C_R$  = Conjugado resistente.

Mantendo-se o  $C_{AC}$  sempre maior que zero, o motor irá desenvolver uma aceleração do repouso ao regime permanente de forma adequada. O tempo que o motor leva para partir do repouso até atingir a sua velocidade nominal é chamado de tempo de partida ( $t_a$ ), deve-se ajustar esse tempo de forma que o aquecimento gerado pela alta corrente de partida não chegue a danificar o isolamento do motor.

O tempo de aceleração do motor (7) é definido em função do conjugado motor médio e do conjugado resistente médio, onde temos:

$$C_{ACM} = C_{MM} - C_{RM} \quad (6)$$

$$t_a = \frac{\left\{ \left[ \frac{2\pi n}{60} \right] J_t \right\}}{C_{AM}} \quad (7)$$

O tempo máximo de rotor bloqueado é o tempo máximo que o motor suporta o estresse da partida, sendo em seguida acrescido o aquecimento (perdas por efeito Joule) referente ao regime permanente, sem que o motor ultrapasse os limites de temperatura definidos em norma. Devido à alta corrente de partida do motor, os

fabricantes recomendam que o tempo de aceleração do motor seja inferior a 80% do tempo máximo de rotor bloqueado.

#### **4.1.4 Motores de alto rendimento**

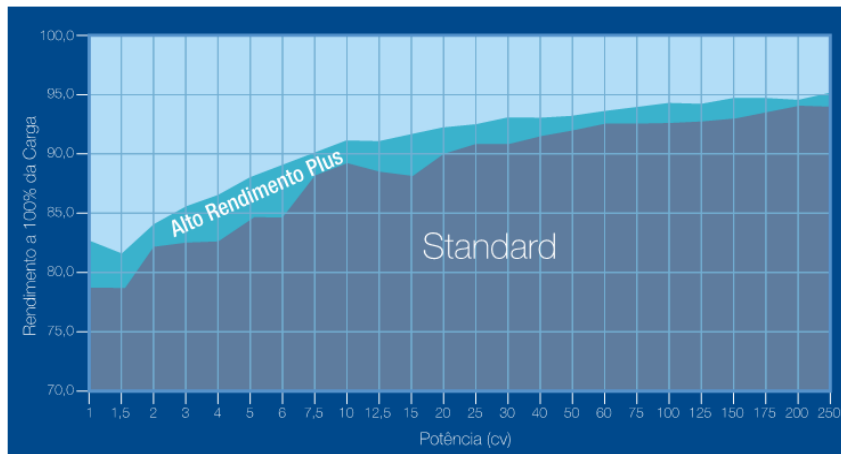
Ao longo dos últimos anos as empresas fabricantes de motores elétricos têm procurado aumentar o rendimento dos seus motores. Os motores de alto rendimento atualmente comercializados no Brasil apresentam um custo cerca de 30% mais elevado do que o custo dos motores *standard* (padrão). Porém, os benefícios ofertados devido as suas características especiais podem levar a ganhos econômicos relevantes dependendo do tipo de aplicação a que se destina este o motor.

O alto rendimento desse tipo motor é adquirido desde o princípio do projeto da máquina a qualidade dos materiais utilizados. As características diferenciais dessa classe referem-se a:

- Uso de chapas magnéticas de aço silício de qualidade superior possibilita a redução da corrente de magnetização;
- Uso de maior quantidade de cobre nos enrolamentos permite reduzir as perdas por efeito Joule;
- Alto fator de enchimento das ranhuras do estator proporciona melhor dissipação do calor gerado pelas perdas internas;
- Tratamento térmico do rotor reduz as perdas suplementares;
- Dimensionamento adequado das ranhuras do rotor e anéis de curto-circuito permite reduzir a perdas Joule.
- Aplicação de rolamentos especiais, com coeficiente de atrito menor do que os rolamentos usados nos motores standard.
- Utilização de ferramentas mais precisas na construção do motor permite uma diminuição nas tolerâncias de fabricação, reduzindo as imperfeições, como resultado tem-se a redução das perdas adicionais.

Com base nas considerações acima, este tipo de motor opera com uma temperatura inferior a dos motores convencionais, proporcionando uma sobrecarga maior, melhorando assim seu fator de serviço. Um gráfico ilustrativo do ganho econômico com a redução da potência consumida é apresentado na Figura 4.3.





Fonte: <http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-programa-de-substituicao-de-motores-040-catalogo-portugues-br.pdf>

Figura 4.3 – Comparação de rendimento motores W21(Standard) e ARPlus

No Brasil, a norma NBR 7094, fixa os níveis mínimos de rendimento que devem ser apresentados por motores denominados como de alto rendimento pelo fabricante.

Devido ao alto custo de investimento, a aquisição de motores de alto rendimento não é justificável apenas por suas qualidades técnicas, é necessário fazer uma análise também econômica do investimento, a qual leva em consideração diversos fatores: tempo de operação do motor, nível de carregamento, custo da energia elétrica e taxa de juros.

#### 4.1.5 Correção de fator de potência

A maioria das cargas elétricas presentes em uma unidade industrial de fabricação de cimento é composta por motores indutivos, transformadores e lâmpadas de descarga, essas cargas consomem não só energia ativa como também energia reativa indutiva. Contudo ao contrário da energia ativa a energia reativa não realiza trabalho de fato. Esses tipos de cargas necessitam de energia reativa para alimentar seu campo magnético, sem o qual não funcionariam. O fator de potência (8) é definido como a razão entre a potência ativa e a potência aparente.

$$FP = \frac{\text{Potência Ativa (kW)}}{\text{Potência Aparente (kVA)}} \quad (8)$$

Um baixo fator de potência provoca uma série de problemas no sistema elétrico, tais como:

- Aumento da corrente elétrica nos circuitos elétricos, necessitando assim um superdimensionamento dos cabos elétricos.
- Aumento das perdas de energia por efeito Joule.
- Quedas de tensões ao longo dos circuitos elétricos.
- Subutilização da potência instalada.
- Aumento dos gastos com equipamentos para proteção dos circuitos e equipamentos.

A legislação brasileira através do artigo 64, da resolução nº 456 da ANEEL, estabelece o fator de potência mínimo de 0,92 (capacitivo ou indutivo). Aqueles consumidores que descumprem este artigo da resolução são passíveis de sobretaxações na conta de energia elétrica.

O conceito da correção do fator de potência faz uso do triângulo de potência, que é um triângulo retângulo que relaciona a potência ativa dada em kW, potência reativa em kvar e a potência aparente em kVA. O triângulo de potência é construído a partir do somatório das potências ativas e reativas de todas as cargas elétricas da unidade consumidora.

Assumindo o sinal positivo para a potência reativa indutiva e negativo para a potência reativa capacitiva, o fator de potência pode ser caracterizado de duas formas diferentes, de acordo com a relação das potências reativas:

$\Sigma$  Potência Reativa  $> 0$  – Fator de potência indutivo (Figura 4.4 - (a)).

$\Sigma$  Potência Reativa  $< 0$  – Fator de potência capacitivo (Figura 4.4 - (b)).

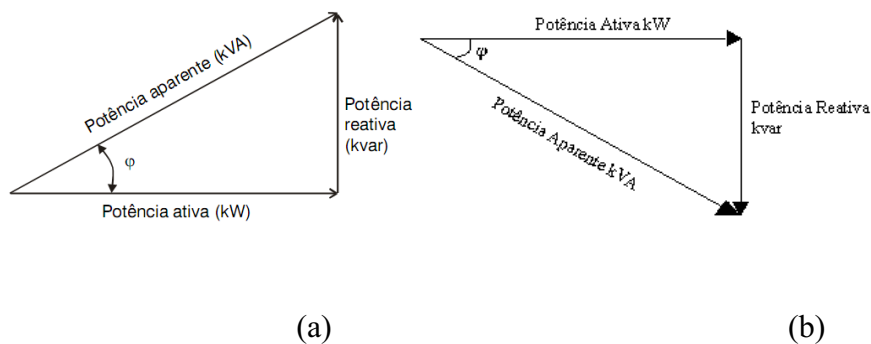


Figura 4.4 – Triângulo de potência predominantemente: (a) indutivo e (b) capacitivo.

Caracterizado o triângulo de potência da instalação elétrica e com base no fator de potência almejado, chega-se a conclusão de que tipo e com que valor de potência reativa será necessário adicionar ao sistema elétrico para que o fator de potência venha a ser corrigido. Devido ao perfil indutivo das cargas elétricas em uma fábrica de cimento, o seu fator de potência é predominantemente indutivo, assim a compensação de reativos é realizada com a adição de cargas com característica capacitiva ao sistema elétrico.

O valor do banco capacitivo necessário para corrigir os reativos, pode ser obtido através da aplicação das relações trigonométricas ao triângulo de potência característico da unidade industrial em questão.

$$Q_c = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (9)$$

Onde:  $Q_c =$  Potência reativa do banco capacitivo (kvar)

$P =$  Potência ativa do sistema (kW)

$\varphi_1 =$  Ângulo de fase antes da correção do fator de potência

$\varphi_2 =$  Ângulo de fase depois da correção do fator de potência

Como resultados da correção do fator de potência, temos:

- Redução das perdas percentuais de energia elétrica por efeito joule devido a redução das correntes nos alimentadores. Esta redução tem efeito direto na diminuição da conta de energia elétrica da unidade industrial, proporcionando também o prolongamento da vida útil dos cabos elétricos e equipamentos. A fórmula (10) possibilita o cálculo das perdas percentuais de energia elétrica.

$$\frac{\Delta P}{P_1} = 100 - \frac{100 - \cos^2 \varphi_1}{\cos^2 \varphi_2} \quad (10)$$

- Redução da potência reativa total do sistema ocasionando a liberação de potência aparente (Figura 4.5), com isto proporciona o aumento da capacidade da instalação sem a necessidade de novos investimentos em transformadores, cabos elétricos e sistema de proteção. A potência ativa liberada pode ser dada pela seguinte fórmula:

$$\Delta P = P \left( \frac{\cos \varphi_2}{\cos \varphi_1} - 1 \right) \quad (11)$$

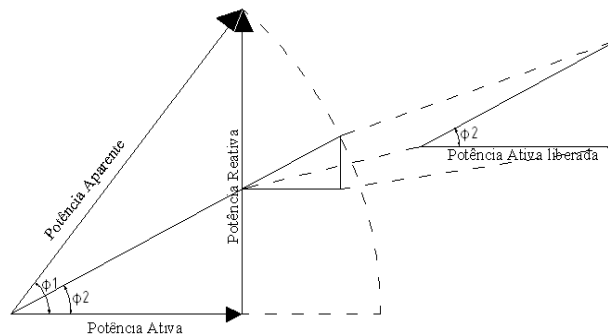


Figura 4.5 – Liberação de capacidade instalada

- A correção de reativos ainda propicia com benefício adicional uma redução na queda de tensão ao longo dos circuitos. Assumindo que a tensão em qualquer ponto do circuito seja obtida de maneira simplificada, subtraindo da tensão da fonte as quedas de tensões ao longo das reatâncias do condutor, a fórmula simplificada é dada por (12):

$$\Delta V = RI \cos \varphi \pm XI \sin \varphi \quad (12)$$

Onde:  $\Delta V$  = Queda de tensão (V)

$R$  = Resistência ( $\Omega$ )

$I$  = Corrente total do circuito (A)

$X$  = Reatância ( $\Omega$ )

(+) = quando a carga for predominantemente indutiva

(-) = quando a carga for predominantemente capacitiva

Denominando:

$I \cos \varphi$  = Componente ativa da corrente total e  $I \sin \varphi$  = Componente reativa da corrente total.

Assim temos que, na medida em que melhoramos o fator de potência, a componente reativa da corrente total do circuito é reduzida, diminuindo sua influência sobre a queda de tensão.

O principal método de correção de um baixo fator de potência é através da instalação de bancos de capacitores.

Os bancos capacitivos apresentam como vantagens os baixos custos de investimento, operação e melhorias técnicas proporcionadas por este tipo de solução.

Existem diferentes maneiras de instalar os bancos de capacitores em uma unidade industrial, cada modelo apresenta suas devidas vantagens e desvantagens técnicas:

- I. Na entrada da alimentação de alta tensão. Proporciona a correção do fator de potência do sistema elétrico da planta industrial visto pela concessionária evitando o pagamento de sobretaxas, contudo os efeitos de um baixo fator de potência permanecem internamente na instalação.
- II. Na entrada de baixa tensão. Possibilita uma razoável correção do fator de potência, contudo, as correntes nos alimentadores dos motores não sofrem uma redução considerável.
- III. Pode ser instalado junto ao Quadro Geral de Força, realizando a correção do fator de potência por grupos definidos de máquinas com potência inferior a 10 cv. Apresenta também como desvantagem a redução pouco significativa da corrente nos alimentadores dos equipamentos.
- IV. Correção localizada é feita instalando-se o banco de capacitores junto ao equipamento que se deseja corrigir o fator de potência. Este método obtém os melhores resultados técnicos, apresentando redução significativa da corrente no alimentador do equipamento, possibilita o uso de um único acionamento tanto para o motor como para o banco de capacitores, gerando potência reativa somente onde é solicitado.

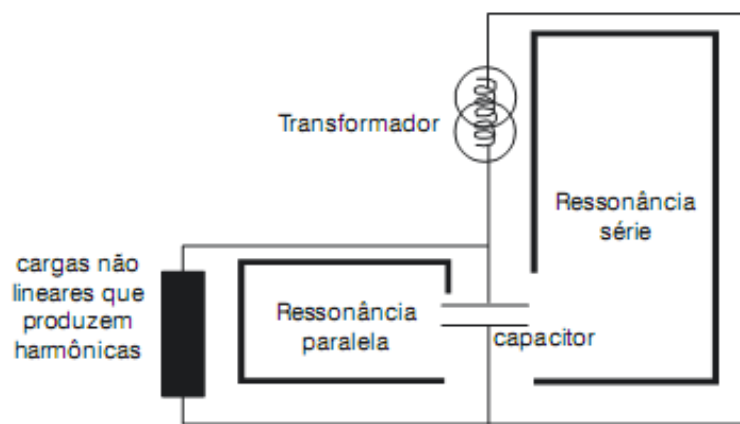
Deve-se ter um cuidado especial na instalação de bancos capacitivos em redes elétricas as quais apresentem presença de harmônicos de tensão e corrente. Os harmônicos são sinais elétricos com frequência múltipla inteira da frequência fundamental, ou seja, a frequência em que opera o sistema (60 Hz), sua forma de onda apresenta-se distorcida. Os harmônicos têm origem em cargas não lineares, como por exemplo: fontes chaveadas, conversores/inversores de frequência, *no-breaks*, transformadores com núcleo saturado, etc.

Quando a rede elétrica apresenta um percentual de cargas não lineares acima de 20%, é necessário fazer um estudo prévio dos harmônicos da rede, antes de instalar os bancos de capacitores, a fim de evitar os fenômenos da ressonância magnética série ou paralela (Figura 4.6).

A ressonância série é a situação em que a reatância indutiva do transformador de força é igual a reatância capacitiva do banco de capacitor, anulando-

se, quando isto ocorre a impedância do circuito torna-se igual a uma resistência de valor muito pequeno, isto leva a ocorrência de sobrecorrentes que causam danos ao banco capacitivo e aos demais equipamentos do circuito.

A ressonância paralela é a condição em que a reatância indutiva do transformador fica trocando energia com a reatância capacitiva do banco, nesta situação a corrente de linha é nula, porque a soma vetorial da corrente no circuito constituído entre o transformador e o banco capacitivo é zero. A tensão e a impedância resultante assumem valores muito altos.



Fonte: <http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf>

Figura 4.6 – Diagrama de ressonância série e paralela

#### 4.1.6 Uso de inversores de frequência

O inversor de frequência é um equipamento capaz de controlar a sua tensão e frequência de saída, isto possibilita a realização do controle de velocidade em motores de indução monofásico ou trifásico.

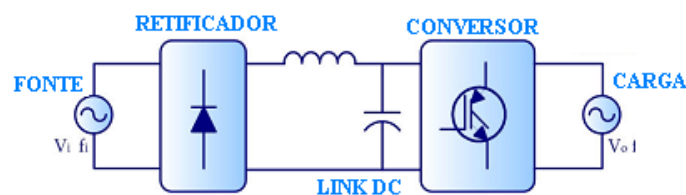
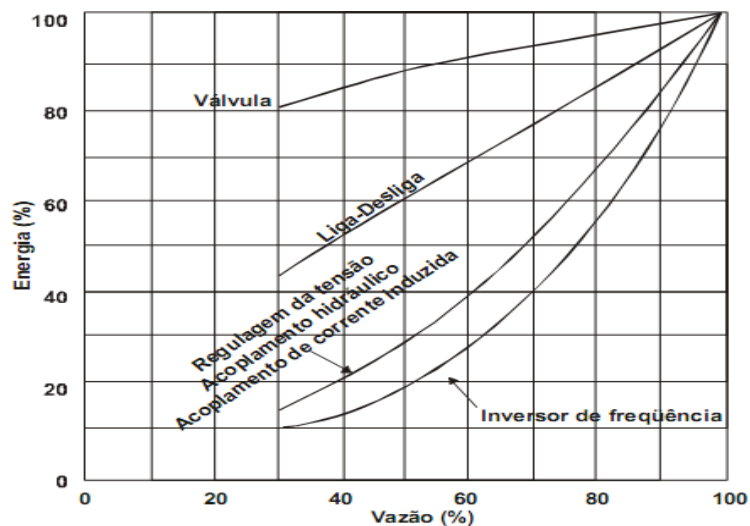


Figura 4.7 – Diagrama simplificado do inversor de frequência

A entrada do circuito (Figura 4.7) é composta por um retificador de tensão, este pode ser monofásico ou trifásico, na sequência vem o *link DC*, composto por um indutor e um capacitor os quais tem a função de reduzir a ondulação da tensão no *link DC*. Na saída do inversor temos um conversor, responsável por converter a tensão do *link DC* em tensão alternada. Além da função do controle de velocidade, o inversor de frequência proporciona uma série de benefícios ao sistema elétrico:

- Partida e parada suave do motor;
- Redução de picos de corrente;
- Redução do consumo de energia elétrica;
- Prolonga a vida útil do motor e dos equipamentos acoplados ao mesmo;
- Melhora o fator de potência.

O ajuste da velocidade do motor de acordo com a necessidade da carga faz com que o motor trabalhe com uma potência menor do que a de plena carga, obtendo com isto uma redução bastante significativa no consumo e na demanda de energia elétrica. Consideremos o seguinte gráfico (Figura 4.8) do consumo de energia elétrica em um sistema de controle de vazão por diferentes métodos, dentre eles o uso do inversor de frequência.



Fonte: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/conferencia>  
 Figura 4.8 – Consumo percentual de energia elétrica em um sistema de controle de vazão realizado por diferentes métodos

Observamos que o uso do inversor proporciona uma economia de energia elétrica de 10 a 50 % em relação aos demais métodos de controle da vazão. A atenção

que se deve ter com os inversores de frequência é com relação a quantidade e os níveis dos harmônicos gerados em seu estágio de retificação. Quando o inversor ou a rede elétrica não possui um sistema de filtragem de harmônicos, estes harmônicos poluem a rede elétrica afetando diretamente a qualidade de energia, causando problemas a instalação e a rede de distribuição da concessionária de energia. Os aparecimentos de sobretensões devidos aos harmônicos provocam:

- Envelhecimento precoce dos motores devido à perda de isolamento;
- Perda de isolamento em cabo elétrico pode causa falha ou queima dos mesmos, ainda pode provocar desligamentos do sistema;
- Aumento da corrente *RMS*, ocasionado o sobreaquecimento dos equipamentos e a diminuição da sua vida útil. Aumento das perdas de energia por efeito Joule;
- Anomalias na atuação de relés de proteção;
- Aumento do erro em equipamentos de medição de energia elétrica, os quais são projetados e calibrados para medir forma de ondas senoidais puras;
- Efeito de ressonância série e paralelo entre bancos de capacitores, transformadores e as cargas elétricas do sistema;
- Interferência em equipamentos de comunicação, em outros inversores, no funcionamento de computadores.

#### **4.1.7 Eficiência energética na iluminação industrial**

O consumo de energia elétrica pelo sistema de iluminação artificial responde por certa de 10 a 15 % em uma unidade industrial de fabricação de cimento. A aplicação de medidas que levem a uma maior eficiência energética neste setor proporciona uma expressiva economia de energia elétrica, redução de custos operacionais e com a manutenção.

A NBR 5413 estabelece os valores médios mínimos de iluminância em serviços de iluminação artificial de interiores, onde se desenvolvem atividades sejam elas, industriais, comerciais, esportivas entre outras. Entende-se por iluminância, o fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada, sua unidade é o lux.

Em uma indústria de cimento são desenvolvidos os mais variados tipos de atividades, requerendo estas, diferentes valores de iluminância. Na Tabela 4.2 são exibidos valores mínimos e máximos de iluminância para variados tipos de atividades.

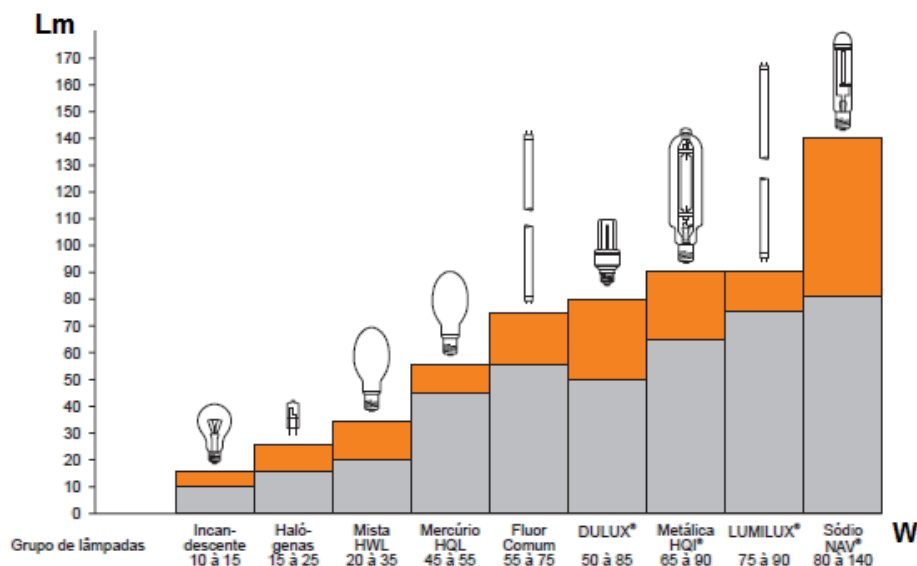


Tabela 4.2 - Níveis de iluminância recomendados pela norma NBR 5413

ATIVIDADE	ILUMINÂNCIA (Lux)	
	Mínimo	Máximo
Mínimo para ambientes de trabalho	150	---
Tarefas visuais e variadas	250	500
Observações contínuas de detalhes médios e finos (trabalho normal)	500	1000
Tarefa visual contínua e precisas	1000	2000
Trabalho muito fino (iluminação local, por exemplo, conserto de relógio)	2000	---

Fonte: MME – PROCEL/ELETOBRÁS, "Conservação de Energia, Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações", Brasil, 2006

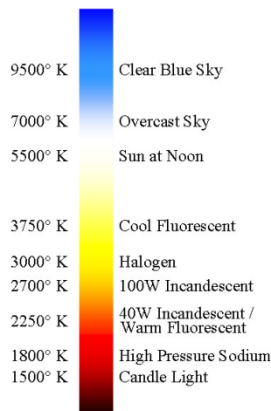
As principais características das lâmpadas são: eficiência luminosa, temperatura de cor, índice de reprodução de cor (IRC) e tempo de vida útil. Para que se venha definir a eficiência luminosa de uma fonte de luz, antes vamos trazer o conceito de fluxo luminoso. Fluxo luminoso é a radiação total da fonte luminosa entre os limites de comprimento de onda entre 380 nm e 780 nm, de acordo com a sua ação sobre um receptor seletivo, sua unidade é o lúmen – lm. A eficiência é dada pelo quociente do fluxo luminoso total emitido por uma fonte de luz em lúmens e a potência por ela consumida em watts. Na Figura 4.9 é apresentada a eficiência luminosa para cada tipo de lâmpada.



Fonte: [http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/manuais/manual\\_luminotecnico\\_pratico\\_osram.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/manuais/manual_luminotecnico_pratico_osram.pdf)

Figura 4.9 - Eficiência luminosa para alguns tipos de lâmpadas

A temperatura de cor expressa a cor da luz emitida pela fonte, sua unidade é o Kelvin (K). A tonalidade da cor da luz emitida muda de acordo com a temperatura da cor (Figura 4.10).



Fonte: [http://fat32.cl/?page\\_id=6](http://fat32.cl/?page_id=6)

Figura 4.10 – Relação entre a temperatura da luz e a sua cor

No ambiente de fábrica o indicado é a utilização de lâmpadas fria, com cores claras, devido ao efeito estimulante que estas proporcionam.

O índice de reprodução de cor quantifica a fidelidade com que a determinada fonte luminosa reproduz as cores, esse índice independe da cor da luz.

O tempo de vida útil das lâmpadas reflete o número de horas de funcionamento antes que certa percentagem destas deixe de funcionar. Este número tem relação direta com o número de acionamentos da lâmpada.

O conjunto de medidas a ser adotadas para se obter uma eficiência energética na iluminação é:

- Correto dimensionamento da quantidade de iluminância para cada tipo de ambiente a ser iluminado, levando-se em conta o tipo de atividade a ser desenvolvida neste ambiente;
- Substituição de lâmpadas comuns por lâmpadas de alto rendimento;
- Substituição de lâmpadas incandescente por fluorescente;
- Máximo aproveitamento da luz natural;
- Utilização de reatores eletrônicos;
- Escolha adequada das armaduras de iluminação;
- Escolha de um adequado sistema de gestão da iluminação;

## 5. Análise dos riscos ambientais

Como foi dito anteriormente, a produção de cimento é uma atividade com alto potencial de poluição. Ao longo de todo o processo de fabricação de cimento, desde a mineração até o ensacamento final do produto, o meio ambiente é exposto a uma série de riscos. Um conjunto de ações governamentais e não governamentais vêm sendo desenvolvidas com intuito de mitigar esses riscos:

- Medidas Governamentais – Foram aprovadas um conjunto de leis que buscam reduzir ou limitar as agressões ao meio ambiente (Legislação Ambiental).
- Medidas não governamentais – A indústria tem buscado um desenvolvimento sustentável, investindo continuamente em tecnologias que apresentam um menor índice de agressão ao meio ambiente, uma maior eficiência energética e que tragam uma maior segurança à saúde do trabalhador.

Tendo em vista a grandeza do processo de fabricação de cimento, dividimos a análise dos riscos em três partes:

1. Mineração
2. Transporte
3. Processo de fabricação de cimento

### 5.1 Riscos ambientais da mineração

Uma série de riscos ambientais é inerente ao processo de mineração das matérias primas para fabricação do cimento, podemos dividi-los nos seguintes tipos de poluição e riscos:

- **Poluição Sonora**- devido ao uso de explosivos para realizar a extração do mineral.
- **Poluição Visual** - decorrente do volume de minério, solos extraídos e a dimensão da frente de lavra.
- **Poluição Atmosférica** - por causa do material particulado que fica em suspensão no ar.
- **Degradação da área explorada** – improdutividade da área após o término da exploração.
- **Risco das Vibrações** – as vibrações originadas do uso de explosivos se propagam em sub-superfícies acelerando os acidentes geotécnicos. Quando estas atividades de

mineração localizam-se na proximidade de zonas urbanas ou moradias, as vibrações provocam danos às estruturas e fundações.

- **Desmatamento** – destruição da vegetação nativa.

Para reduzir ao mínimo as agressões ao meio ambiente buscando um desenvolvimento mais sustentável, foi criada pelo governo brasileiro a Legislação Ambiental e a Legislação Mineral. No que diz respeito às leis que regulamentam a atividade de mineração, os três níveis do poder estatal atuam com responsabilidades.

Na esfera Federal, foi criada uma série de órgãos encarregados de definir as diretrizes e regulamentações, agir na concessão, fiscalização e cumprimento da legislação ambiental e mineral. Os principais órgãos e suas respectivas funções são:

- **MMA** (Ministério do Meio Ambiente) – Formula e coordena as políticas ambientais, também tem a função de dirigir e acompanhar a execução de suas políticas.
- **MME** (Ministério de Minas e Energia) – Formula e coordena as políticas dos setores mineral, elétrico e petróleo/gás.
- **SMM** (Secretaria de Minas e Metalurgia) – Responsável por coordenar e executar as políticas do setor mineral.
- **DNPM** (Departamento Nacional de Produção Mineral) – Órgão responsável por gerenciar e fiscalizar os exercícios das atividades de mineração em todo o território nacional, buscando sempre um aproveitamento de forma racional, controlada e sustentada. Este órgão também é responsável por realizar a preservação e o estudo do patrimônio paleontológico.
- **ANA** (Agência Nacional das Águas) – Responsável pela Política Nacional de Recursos Hídricos. Tem por função gerenciar os recursos hídricos, realizar outorga de água superficial e subterrânea.
- **CONAMA** (Conselho Nacional do Meio Ambiente) – É um órgão consultivo e deliberativo com a função de assessorar, estudar e propor ao conselho de governo, diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado.
- **IBAMA** (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais) – Órgão federal ao qual compete o licenciamento e a fiscalização ambiental.

As principais leis e resoluções que regem a atividade mineradora no Brasil são descritas abaixo.

- Lei 6.938, de 1981 – Dispões sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências. A Política Nacional do Meio Ambiente objetiva a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e a proteção da dignidade da vida humana. Abaixo citamos os artigos de maior destaque e subtópicos dessa lei aplicados à mineração:

- Art. 2, subtópico IV- proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;
- Art. 2, subtópico VII – acompanhamento do estado da qualidade ambiental.
- Art. 2, subtópico VIII – o empreendedor mineiro tem por obrigação desenvolver um plano de recuperação das áreas degradadas - PRAD.

A concessão das licenças para a implantação e início das atividades mineradoras do calcário, gipsita e da argila dependerá da realização do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), o qual deverá estar contido no Relatório de Impacto Ambiental, este último documento será apresentado ao órgão estadual competente, sendo este órgão integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), para que seja realizada a análise e aprovação.

A resolução do CONAMA nº001, de 23 de janeiro de 1986, define as diretrizes e critérios que deverão ser adotados pelo EIA/RIMA. Os principais artigos dessa resolução são:

- Artigo 2 - Dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental - RIMA, a ser submetido à aprovação do órgão estadual competente, e do IBAMA em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente.
- Artigo 7 - O estudo de impacto ambiental será realizado por equipe multidisciplinar habilitada, não dependente direta ou indiretamente do proponente do projeto e que será responsável tecnicamente pelos resultados apresentados.
- Artigo 8 - Todas as despesas e gastos oriundos do Estudo de Impacto Ambiental deverão ser de responsabilidade do proponente do projeto, no caso, a empresa mineradora.

- Artigo 9º - Define os conteúdos os quais o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) deverá abordar. O RIMA deve ser apresentado de forma clara e em uma linguagem acessível, de forma que, seja fácil a compreensão das vantagens de desvantagens do projeto.
- Artigo 11 – O Relatório de Impacto Ambiental fica a acessível ao público nos centros de documentação ou bibliotecas do SEMA e do órgão estadual de controle ambiental. Será permitida ao público a discussão do RIMA, inclusive em audiência pública.

A resolução CONAMA nº002, de 18 de abril de 1996, estabelece como obrigação do empreendedor a criação de uma unidade de conservação, de domínio público e uso indireto, com objetivo de preservar amostras representativas dos ecossistemas afetados pelas atividades da mineração. Também define como responsabilidade do empreendedor, o financiamento de porcentagem dos custos dessa unidade.

A resolução CONAMA nº009, de 06 de dezembro de 1990, aborda a sequência de etapas legais a serem seguidas pelo empreendedor para que este venha a adquirir a Licença Ambiental de Extração de Mineral. Os seguintes artigos dessa norma definem os procedimentos a serem seguidos:

- Artigo 4, parágrafo único – A Licença Prévia (LP) deverá ser solicitada ao órgão ambiental estadual ou ao IBAMA mediante apresentação do EIA/RIMA e das documentações exigidas no anexo I do artigo 2, desta mesma resolução.
- Artigo 5 – Depois de adquirida a Licença Prévia, para requerer a Licença de Instalação (LI), o empreendedor deverá apresentar ao órgão ambiental estadual ou ao IBAMA, o Plano de Controle Ambiental (PCA) plano este que contém os projetos executivos de minimização dos impactos ambientais. Também deve ser apresentado a documentação exigida no anexo II do artigo 2, desta mesma resolução.
- Artigo 7 – Somente depois de adquirida a Licença de Instalação, a Licença de Operação (LO) poderá ser requerida. O órgão ambiental competente irá avaliar se os projetos contidos no PCA foram implantados e se a documentação relacionada no anexo III desta norma foi apresentada, decidindo então sobre a concessão da LO.

## 5.2 Riscos ambientais inerentes ao transporte

Diversos são os riscos aos qual o meio ambiente é exposto, por toda a atividade que envolve transporte em uma planta industrial de fabricação de cimento. Seja o transporte rodoviário, hidroviário ou ferroviário alto é o potencial de poluição. Esta atividade se estende por todo o processo de fabricação do cimento. Da mineração, temos o transporte das matérias-primas das minas até o parque industrial, os demais insumos para a fabricação do cimento também são transportados por um dos três tipos de transporte citados acima. Na parte final do processo temos a expedição do produto, fase esta em que temos a distribuição do cimento até os centros consumidores.

Citamos abaixo os principais riscos decorrentes da atividade do transporte:

- Emissão de CO<sub>2</sub>– Como 93% do modal de transporte brasileiro é constituído pelo tipo rodoviário, e o seu combustível base é o óleo derivado do petróleo, a este tipo de transporte deve-se uma grande índice de emissão de CO<sub>2</sub>. Os demais tipos de transportes hidroviário e ferroviários também apresentam como combustível base derivados do petróleo.
- Contaminação do meio ambiente por agentes químicos – diversos são os agentes químicos transportados para uma fábrica de cimento. Ao longo dos últimos anos, com o uso crescente de certos resíduos industriais (*blend's*) para a realização da atividade de co-processamento, cresceu também a gama de agente poluentes transportado. O risco ambiental advém do perigo de acidente com o veículo transportador, podendo vir a causar o vazamento do agente químico, incêndios, explosões. Esses riscos são ampliados devido a precária infraestrutura brasileira.

Para mitigar estes riscos o governo brasileiro criou uma Legislação sobre Transporte. O Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) através Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), estabelecer as normas regulamentares e defini as diretrizes da Política Nacional de Trânsito; Abaixo temos as principais resoluções e decretos que regulamentam o transporte dos produtos químicos envolvidos nas atividades da indústria cimenteira:

- Resolução nº 210/06, estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por via terrestre.

- Resolução nº 14/98, estabelece os equipamentos obrigatórios para a frota de veículos em circulação.
- Resolução nº 68/98, define os requisitos de segurança necessários à circulação de Combinações de Veículos de Carga – CVC.
- Resolução nº 258/07, dispõe sobre a tolerância máxima de peso bruto de veículos.
- Resolução nº 105/99, estabelece a Regulamentação para colocação de faixas refletivas.
- Resolução nº 128/01, estabelece obrigatoriedade de utilização de dispositivo de segurança para prever melhores condições de visibilidade.
- Resolução nº 168/04, estabelece Normas e Procedimentos para formação de condutores de veículos (inclusive Curso MOPP).

### **5.3 Riscos ambientais inerentes aos processos internos da fábrica**

Apresenta riscos, todo o circuito de processo de fabricação de cimento interno à fábrica: britagem, moagens de cru, coque e cimento, clinquerização e por fim a expedição do cimento. Devido às características do processo, ao longo de toda a cadeia de produção ocorre a emissão de materiais particulados.

Os poluentes primários emitidos no processo de fabricação de cimento são: material particulado, dióxido de carbono, óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio. Segundo o órgão ambiental norte-americano, as plantas de fabricação de cimento estão entre as maiores fontes de emissão de poluentes atmosféricos perigosos, dos quais destacam-se as dioxinas e furanos; os metais tóxicos como mercúrio, chumbo, cádmio, arsênio, antimônio e cromo; os produtos de combustão incompleta e os ácidos halogenados (USA, 1991; USEPA, 1996). Os metais pesados contidos nas matérias-primas e combustíveis, mesmo em concentrações muito pequenas, devido a sua volatilidade e ao comportamento físico-químico de seus compostos, podem ser emitidos na forma de particulado ou de vapor através das chaminés das fábricas (USEPA, 2000).

Outra fonte de risco ao meio ambiente dar-se no recebimento, preparo e manuseio dos *blend's*, podendo vir a ocorrer vazamentos, emissão de substâncias voláteis ou ainda no caso das substâncias inflamáveis, a ocorrência de incêndios ou explosões com formação de nuvens de poluentes atmosféricos. A atividade de co-processamento é regulamentada através da Resolução nº 264/99, esta define



procedimentos, critérios e aspectos técnicos específicos de licenciamento ambiental para o co-processamento de resíduos em fornos rotativos de clínquer para a fabricação de cimento. Os tipos de substâncias possíveis ou não de serem utilizadas na atividade de co-processamento são:

Substâncias Permitidas:

- Substâncias oleosas;
- Catalizadores usados;
- Resinas, colas e látex;
- Pneus e emborrachados;
- Solventes;
- Borrachas.

Substâncias Proibidas:

- Resíduos domiciliares brutos;
- Resíduos hospitalares não tratados;
- Resíduos explosivos;
- Resíduos radioativos;
- Resíduos organoclorados;
- Agrotóxicos e afins.

As principais medidas de controle do material particulado na área industrial são: a instalação de filtros de mangas ou precipitadores eletrostáticos, abatimento da poeira por aspersão de água, confinamento das áreas de estocagem e beneficiamento de materiais. Quanto ao controle da emissão de gases poluentes é feita a instalação de analisadores de gases, estes realizam o monitoramento e registro das concentrações dos mesmos, permitindo assim ao operador de comando atuar no processo, quando as concentrações ultrapassarem os níveis definidos na norma.

## 6. Estudo de caso

O estudo de caso foi realizado em Campo Formoso - BA, na fábrica de cimento do grupo CIMPOR. A aquisição desta fábrica pelo **Grupo Cimpor** ocorreu em janeiro de 1997 e, em julho de 2003, foi realizado o "start-up" da nova planta e o

desligamento da antiga planta. Atualmente esta unidade responde por 10 % da capacidade instalada de produção de cimento do grupo CIMPOR no Brasil.

O grupo CIMPOR tem como um dos pilares do seu negócio a filosofia do desenvolvimento sustentável. Assim, desde a concepção do projeto ao seu comissionamento, os padrões de consumo e qualidade adotados atendem as normas brasileiras. A unidade de Campo Formoso (CAF) detém certificações nas normas NBR ISO 14001:2004, OHSAS 18001:2007 e na ISO 9001:2008.

A unidade de CAF tem sua tarifa de energia elétrica classificada como: industrial A3 horo-sazonal-azul. As demandas contratadas na ponta e fora de ponta são respectivamente iguais a 4500 e 13000 kWh, com um fator de carga nos dois horários igual 0,82. O preço final da energia cobrada pela concessionária é determinado segundo a fórmula (14):

$$PF = \frac{\text{Tarifa de energia (NP ou FP)}}{1 - (\text{ICMS}\% + \frac{\text{PIS}}{\text{COFINS}}\%)}$$
 (14)

Onde:  $PF$  = Preço final,

$NP$  = Na ponta,

$FP$  = Fora de ponta.

Na Tabela 6.1 é apresentado o conjunto das tarifas praticadas pela COELBA, fornecedora de energia da CIMPOR CAF.

Tabela 6.1 – Tarifas de energia praticada pela COELBA



**TABELA DE TARIFA E PREÇO FINAL DE ENERGIA ELÉTRICA**  
RESOLUÇÃO 971 de 19.04.2010 (VIG - 22.04.2010)  
HOROSAZONAL - AZUL A3 (69 kV)

ABRIL/2011 - PIS = 0,85% / COFINS = 3,92%

DESCRIÇÃO	TARIFA	ALÍQUOTAS		PREÇO FINAL
		ICMS	PIS/COFINS	ABRIL/2011
<b>A3 - INDUSTRIAL E COMERCIAL (Hotéis, Pousadas e Hospitais)</b>				
kWh NP - SECO	0,20370	12,96%	4,77%	0,24780
kWh NP - ÚMIDO	0,18445	12,96%	4,77%	0,22420
kWh FP - SECO	0,12786	12,96%	4,77%	0,15542
kWh FP - ÚMIDO	0,11667	12,96%	4,77%	0,14181
kVArh - NP/FP - SECO/UMIDO	0,10670	12,96%	4,77%	0,12969
kW NP	35,09000	12,96%	4,77%	42,65224
kW FP	7,17000	12,96%	4,77%	8,71521
kVAr - NP/FP	7,17000	12,96%	4,77%	8,71521
kW ULT NP	70,18000	12,96%	4,77%	85,30449
kW ULT FP	14,34000	12,96%	4,77%	17,43041

Fonte: <http://www.coelba.com.br/>

Dentre as medidas de eficiência energética abordada nos tópicos anteriores, a fábrica apresenta:

- Um sistema de correção de fator de potência automatizado. A instalação dos bancos capacitivos é feita de forma mista, ou seja, motores com potência inferior a 10 cv são agrupados e a correção é feita junto ao QDF (quadro de distribuição de força), motores com potência superior a 10 cv a correção dos reativos é feita junto à carga. O sistema ainda possui um conjunto de capacitores localizados na subestação, estes tem a função de realizar a equalização final do fator de potência. O sistema é programado para corrigir o fator de potência para o valor unitário. Na Figura 6.1, verificamos a eficiência econômica do sistema implantado, quando é possível observar que a demanda reativa excedente cobrada pela concessionária de energia é nula;


<b>DO ESTADO DA BAHIA</b> AV. EDGARD SANTOS, 300, CABULA VI, SALVADOR, BAHIA CEP 41181-900 CNPJ 15.139.629/0001-94 INSCRIÇÃO ESTADUAL 00478696NO		 <b>coelba</b> Grupo Neoenergia		<b>COELBA 0800 071 0800</b> Atendimento ao deficiente auditivo ou de fala: 0800 281 0142 Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL 167 - Ligação Gratuita de telefones fixos e tarifada na origem para telefones celulares	
<b>DADOS DO CLIENTE 1002156901</b> <b>CCB CIMPOR CIMENTOS DO BRASIL LTDA</b>  <b>CNPJ:</b> [REDACTED] <b>ENDEREÇO</b> <b>PO SÍTIO ESPLANADA 2</b>  <b>RURAL-CAMPO FORMOSO/CAMPO FORMOSO</b> <b>44790-000 CAMPO FORMOSO BA</b>		<b>DATA DE VENCIMENTO</b> <b>21/02/2011</b>  <b>TOTAL A PAGAR (R\$)</b> [REDACTED]		<b>DATA DA EMISSÃO DA NOTA FISCAL</b> <b>30/01/2011</b>  <b>DATA DA APRESENTAÇÃO</b> <b>02/02/2011</b>  <b>NÚMERO DA NOTA FISCAL</b> <b>004718946</b>	
		Reservado ao Fisco		<b>CONTA CONTRATO</b> [REDACTED]  <b>CLASSIFICAÇÃO</b> INDUSTRIAL A3 Horo-sazonal Azul	
<b>5BAE.95AD.B872.8C4E.EB09.FB70.CC1B.29B5</b>					
<b>DESCRIÇÃO DA NOTA FISCAL E INFORMAÇÕES IMPORTANTES</b>					
	QUANTIDADE	PREÇO	VALOR(R\$)	Conheça seus Direitos e Deveres: É seu direito receber energia elétrica em sua unidade consumidora dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pela ANEEL. Conheça os dados nos campos "Duração e Frequência das Interrupções" e "Níveis de Tensão" na sua conta.	
Demanda Ativa Na Ponta	4.500,00	43,18238	194.320,71		
Demanda Ativa Fora de Ponta	13.089,60	8,82353	115.496,48		
Demanda Reativa Excedente Na Ponta	0,00	43,18238	0,00		
Demanda Reativa Excedente Fora de Ponta	0,00	8,82353	0,00		
Consumo Ativo Na Ponta	269.414,64	0,22699	61.154,43		
Consumo Ativo Fora de Ponta	6924.960,00	0,14358	994.285,76		
Consumo Ativo Energia Mais	193.710,96	0,74452	144.221,68		

Figura 6.1 – Fatura de energia da fábrica de CAF

- A aplicação de um sistema controle de demanda automático, abastecido com informações enviadas por *Power Monitor's* (Medidores de energia), estes localizados nos diversos setores da fábrica, faz a inserção ou retirada de cargas em operação de modo a evitar que a demanda medida não ultrapasse a demanda contratada, seja ela no horário *NP* ou *FP*. As Figuras 6.2 (a) e (b) são imagens

retiradas da fatura de energia exibida na Figura 6.1, estas imagens ilustram os resultados obtidos pelo sistema de controle automático da demanda.

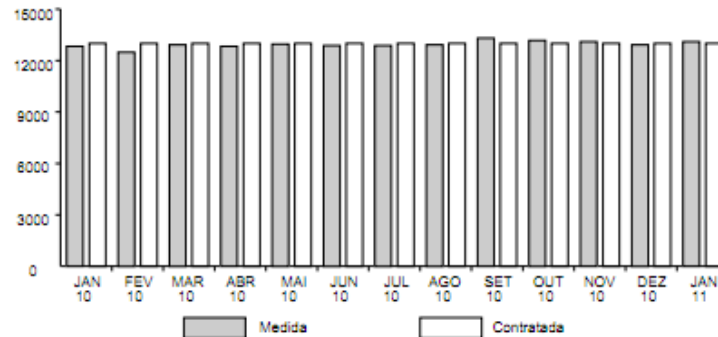


Figura 6.2 (a) – Demanda no horário *FP* em kW, ano de 2010

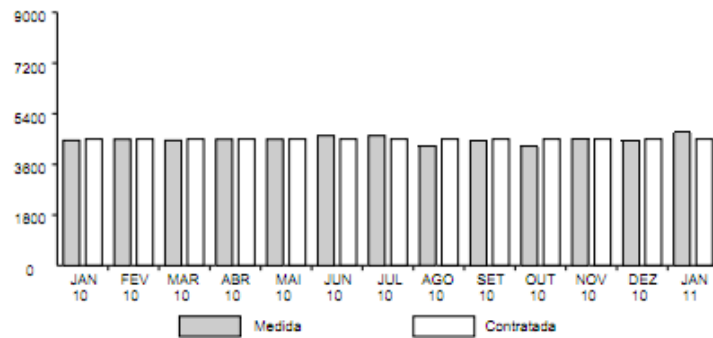


Figura 6.2 (b) – Demanda no horário *NP* em kW, ano de 2010

- Modificações foram realizadas no moinho de cru: instalação de um separador dinâmico e a troca do redutor do motor da mesa giratória. Estas melhorias proporcionaram um aumento expressivo na produção da farinha do cimento tipo CPIIF-32. Antes o moinho operava com um índice de produção de 19 ton/h de farinha, após as melhorias este índice teve um aumento de 73,68 %, resultando em 33 ton/h.
- A fim de obter um uso mais racional da energia no instante da partida dos motores, a CIMPOR adota os seguintes critérios para a definição do tipo de partida e tensão de alimentação dos motores (Tabela 6.2):

Tabela 6.2 – Tensão de alimentação e tipos de partidas dos motores elétricos

Motores CA	Potência Ativa (kW)	Tensão de alimentação (V)
Limites para MT e BT	$\leq 400$	3 x 440 V (BT), 60Hz
	$> 400$	3 x 6.600 V (MT), 60Hz
Partida direta	$< 40$	3 x 440 V, 60Hz
Chave estática (Soft-start)	$40 < P \leq 400$	3 x 440 V, 60Hz
Inversores de Frequência de BT	$\leq 550$	3 x 440 V, 60Hz
Inversores de Frequência de MT	$> 550$	3 x 6600 V, 60Hz, trafo isolador, 12 pulsos mínimo

- Semestralmente são feitas análises dos balanços energéticos e térmicos dos setores das moagens de cru, cimento e moinho de coque. O balanço energético é obtido através da relação entre a quantidade do produto que entra no processo e a quantidade do produto que sai. Já o balanço térmico é a relação entre o calor que entra e o que sai do processo. Os resultados apresentados pelo balanço energético e térmico são comparados com os parâmetros de comissionamento fornecidos pelas empresas montadoras dos equipamentos, havendo alguma discrepância entre os valores, são realizados os seguintes procedimentos:
  1. Observa-se o histórico de funcionamento do equipamento, se houve alguma interrupção da operação e por quanto tempo;
  2. Verificam-se os registros da manutenção, identificando se há alguma ação pendente que venha a interferir na eficiência do equipamento;
  3. Encontrando o equipamento em plena condição de operação, é feita uma abordagem em cima da matéria prima, verificando se ocorreu alguma mudança significativa na sua composição que possa vir a alterar a eficiência do processo. Constatando adulterações na composição da matéria prima, são propostas modificações na fórmula de preparo.
- Através de um sistema automatizado, todas as informações a respeito dos equipamentos elétricos, assim como das variáveis de processos, são coletadas

através de sensores e armazenadas em um banco de dados. De posse desses dados, o planejamento da manutenção elétrica e mecânica é discutido em reuniões que acontecem diariamente, definindo-se a prioridade de atendimento das falhas dos equipamentos. O histórico dos dados possibilita ainda a realização de uma análise mais profunda, identificando falhas futuras. Assim, é programada uma manutenção mais eficiente, aumentando a fiabilidade dos equipamentos.

## **7. Conclusão**

A escassez dos combustíveis fósseis, assim como a limitação do parque gerador de energia elétrica, representa um dos maiores obstáculos ao desenvolvimento das nações. Ao longo dos anos tem se observado o aumento na preocupação das instituições governamentais e privadas em promover um desenvolvimento sustentável. Atualmente o conceito de desenvolvimento sustentável está presente em toda empresa que busca uma maior competitividade no mercado nacional ou internacional.

Novas tecnologias mais eficientes e limpas vêm sendo desenvolvidas e aplicadas nos diversos setores da indústria, possibilitando uma visível redução nos padrões de consumo de energia e nos níveis de poluição, sem que isto signifique perda de produtividade.

Neste trabalho foi realizada a síntese de um conjunto de medidas técnicas aplicáveis a uma instalação industrial de forma a obter um consumo mais racional da energia. Também fez-se o levantamento dos principais riscos ambientais envolvidos no processo de fabricação de cimento, assim como as medidas governamentais e privadas aplicadas para a redução destes riscos.

Apesar das vantagens econômicas e técnicas das tecnologias mais eficientes, ainda existem barreiras a sua aplicação que precisam ser transpostas. Um maior comprometimento dos governos com relação a medidas que viabilizem o desenvolvimento e à aquisição dessas tecnologias, assim como a criação de leis que incentivem aquelas empresas que optam pelo desenvolvimento sustentável, leis que definam, de forma clara, novos padrões de consumo de energia.

Através de um estudo de caso realizado em uma fábrica de cimento, foi possível observar a mudança de pensamento quanto ao modelo de desenvolvimento adotado. A opção pelo modelo sustentável possibilitou além dos benefícios acima

citados, uma melhora na imagem da empresa perante a sociedade. O atendimento aos padrões brasileiros e internacionais de consumo de energia e controle dos poluentes apresentou reflexos claros nos setores econômico, produtivo e de qualidade.

## REFERÊNCIAS

BARREIRO, A.; FERREIRA, J. and BLANC, M. “**Energy Management for Rational Electricity Use-Reducing Cost and Consumption of SECIL’s Outao Cement Plant/Portugal**”. *IEEE – TransactionsonIndustryApplications*, vol. 27, No. 3, pp. 398-405, 1991.

BEN (2009), **Balanco Energético Nacional**. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Energia. Disponível em <[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)>. Acessado em 31/03/2011.

COELBA, Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia. Disponível em <<http://www.coelba.com.br>>. Acessado em 06/04/2011.

COPEL, Companhia Paranaense de Energia. Disponível em <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Ftarifas%2Fpagcopel2.nsf%2Fverdocatual%2F23BF37E67261209C03257488005939EB>>, Acessado em 15/04/2011.

FITZGERLD, A. E.; CHARLES, Kingsley Jr.; KUSKO, Alexandre. **Máquinas Elétricas**. São Paulo: Mc Graw-Hill, 1975.

GOMIDES, W. M. **Processo de fabricação de cimento**. Mato Grosso: Cimento Itaú, 1996. 24p.

HAGUENAUER, Lia. **A indústria de cimento**. In: GARCIA, Fernando; FARINA, Elizabeth M. M. Q.; e ALVES, Marcel Cortez (orgs.). **Padrão de concorrência e competitividade da indústria de materiais de construção**. São Paulo, Editora Singular, 1997.

JUNIOR, A. N. **Motores Trifásicos de Indução: Dimensionamento**. Disponível em <[ftp://ftp.usjt.br/pub/revint/243\\_42.pdf](ftp://ftp.usjt.br/pub/revint/243_42.pdf)>. Acessado em 15/04/2011.

LUCIANO, B. A. e MACEDO, E. C. T. CD-ROM da disciplina Gerenciamento de Energia. Campina Grande: DEE/CEEI/UFCG, 2008.

MARINGOLO, V. **Clínquer co-processado: produto de tecnologia integrada para a sustentabilidade e competitividade da indústria de cimento**. São Paulo, 2001. Tese [Doutorado]. Mineralogia Aplicada. Departamento de Mineralogia e Petrologia, São Paulo: Universidade de São Paulo.

WEG. **Manual para Correção do Fator de Potência**. Disponível em <<http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf>>. Acessado em 15/04/2011.

MARQUES, M. C. S.; HADDAD, J. e GUARDIA, E. C. **Eficiência Energética – Teoria e Prática**, 1ª Edição, Eletrobrás/PROCEL Educação, Itajubá: UNIFEI, 2007.

SANTI, A. M. M. (2003), **Co-incineração e Co-processamento de Resíduos Industriais Perigosos em Fornos de Clínquer**. Disponível em <[http://www.fem.unicamp.br/~seva/anppas04\\_SantiSeva\\_cimento\\_RMBH.pdf](http://www.fem.unicamp.br/~seva/anppas04_SantiSeva_cimento_RMBH.pdf)>. Acessado em 07/04/2011

SNIC (2009), Sindicato Nacional da Indústria de Cimento, **Relatório anual 2009**. Disponível em <<http://www.snic.org.br/>>. Acessado em 28/03/2011.